

TARTU ÜLIKOOL  
Majandusteaduskond  
Ettevõtetmajanduse instituut

Meelis Säinas

**TIMMITUD TOOTMISE JA PIIRANGUTE TEOORIA  
KOOSRAKENDAMINE  
TOOTMISPROTSESSIDE JUHTIMISES AS SAKU  
METALL ALLHANKE TEHAS NÄITEL**

Magistritöö ärijuhtimise magistri kraadi taotlemiseks  
ettevõtluse ning tehnoloogia juhtimise erialal

Juhendaja: lektor Kalev Kaarna

Tartu 2014

Soovitan suunata kaitsmisele .....  
(juhendaja allkiri)

Kaitsmisele lubatud “ ..... “ ..... 2014.a.

..... õppetooli juhataja .....  
(õppetooli juhataja nimi ja allkiri)

Olen koostanud töö iseseisvalt. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, põhi-  
mõttelised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

.....  
(töö autori allkiri)

# SISUKORD

SISSEJUHATUS .....	5
1. TIMMITUD TOOTMISE JA PIIRANGUTE TEOORIA KOOSRAKENDAMISE VÕIMALUSED TOOTMISPROTSESSIDE JUHTIMISES .....	8
1.1 Timmitud tootmise põhimõtted ja tehnikad .....	8
1.2 Piirangute teooria põhimõtted ja tehnikad .....	22
1.3 Timmitud tootmine ja piirangute teooria tootmisprotsesside juhtimises.....	32
2. TIMMITUD TOOTMISE JA PIIRANGUTE TEOORIA KOOSRAKENDAMISE VÕIMALUSED AS SAKU METALL ALLHANKE TEHASE TOOTMISPROTSESSIDE PARENDAMISEL .....	38
2.1 Uurimismetoodikad ja uurimisobjekti tutvustus .....	38
2.2 Tootmisprotsesside analüüs ja parendamine .....	42
2.3 Järeldused ja soovitused tootmisprotsessi juhtimise arendamiseks.....	76
KOKKUVÕTE .....	79
VIIDATUD ALLIKAD .....	82
LISAD.....	88
Lisa 1. AS Saku Metall töökeskuste loetelu.....	88
Lisa 2. AS Saku Metall Allhanke tehase müügikäive, 2013 aastal (EUR) .....	89
Lisa 3. AS Saku Metall Allhanke tehase kasum/kahjum, 2013 aastal (EUR).....	90
Lisa 4. Tootmistellimuse spetsifikatsioonid.....	91
Lisa 5. Tootepuu (toode D) .....	92
Lisa 6. Tsükliaja ja lõpetamata toodangu seos .....	94

Lisa 7. Seitsme raiskamise omavahelised seosed .....	95
Lisa 8. Kobayashi 20 võtit tootlikkuse tõstmiseks .....	97
Lisa 9. Põrguvälja tee 25 tootmishoone <i>Layout</i> .....	99
Lisa 10. Partii osakaal materjali kasutuses.....	100
SUMMARY .....	101

## SISSEJUHATUS

Statistikaameti andmetel moodustab Eestis töötleva tööstuse kogumahust metalli- ja metalltoodete töötlemine ca 16%, eksporditakse sellest ca 10%. Levinumad on allhanke-tööd, kus toodete lisaväärtus on madal, toorme hinnad ja tööjõukulud seevastu pigem tõusevad. Kui toodete hinda tõsta ei ole võimalik, tuleb ettevõtetel konkurentsivõime parandamiseks efektiivsemaks muutada sisemiste protsesside parendamise läbi. Ole-masolevate ressursside ärakasutamiseks, tuleb oma tegevusi ja protsesse korrastada, sest pikas perspektiivis pole jätkusuutlik tegevus tagatud vaid kulude kokkuhoiu, odavama tööjõu või kärbetega tehnoloogilise võimekuse arvelt.

Suuna ettevõtte protsesside parendamiseks annavad erinevad protsessijuhtimise metoo-dikad ja teooriad nagu näiteks timmitud tootmine (*Lean Manufacturing*), piirangute teooria (*Theory of Constraints, TOC*), terviklik kvaliteedijuhtimine (*Total Quality Man-agement, TQM*), kvaliteedijuhtimissüsteemi standard ISO9001, kuus sigmat (*Six Sigma*). Igal lähenemisel on omad tugevused ja nõrkused, mistõttu on viimasel küm-nendil hakatud üha rohkem rääkima erinevate teooriate integreeritud rakendamisest.

Käesolevas magistritöös keskendub autor timmitud tootmise ja piirangute teooria koos-rakendamisele, mida soovitatakse erialases kirjanduses ning mis on leidnud ka praktilist kasutamist ettevõtetes. Mõlema teooria fookuses on toodangu voo juhtimine, tootmis-tsükliaja lühendamine, varude vähendamine, efektiivsuse tõstmine ja pidev parendami-ne. Samas on mõlemal teorial ka piisavalt erinevusi terminoloogias, juurutamise prot-sessides ja töövõtetes, mistõttu nende koos rakendamine ei ole probleemivaba ega ele-mentaarne. Samuti vajab analüüsi, milliste tootmisprotsesside juhtimise ülesannete pu-hul tuleks eelistada üht teooriat teisele või milliste kriteeriumite järgi valikut teha.

Magistritöö probleemiks on asjaolu, et õhukesest lehtmetailist allhanketöödega tegelev tootmisettevõtte AS Saku Metall Allhanke Tehas tootmistegevuste juhtimine on muutu-nud toodangu mahtude mitmekülgsemaks ja keerulisemaks muutudes raskesti hallata-

vaks. Tarnekindlus on langenud, sest toodangu läbivusajad (tootmistsükkel) on pikenenud. Mitmetest detailidest koosnevate toodete sisemine logistika ei ole reaajas jälgitav ning töökeskused on ebahühtlaselt koormatud.

Käesoleva magistritöö eesmärgiks on AS Saku Metall Allhanke Tehase tootmisprotsesside parendamise võimaluste leidmine, kombineerides selleks timmitud tootmise ja piirangute teooria põhimõtteid ning tehnikaid. Eesmärgi saavutamiseks on püstitatud järgmise ülesanded:

- selgitada välja timmitud tootmise ja piirangute teooria põhimõtete ja meetodite peamised sarnasused ja erinevused;
- analüüsida timmitud tootmise ja piirangute teooria koosrakendamise võimalusi ning takistusi;
- analüüsida AS Saku Metall Allhanke tehase tootmisprotsesse ja peamisi kitsaskohti;
- analüüsida timmitud tootmisest ja piirangute teooriast lähtudes tootmisprotsesside parendusvõimalusi AS Saku Metall Allhanke tehases;
- selgitada välja, milliste timmitud tootmise ja/või piirangute teooria tehnikate edaspidine juurutamine on ettevõttele sobilik, mis aitaksid tõsta tootlikkust ning tagaksid ettevõtte konkurentsivõime kasvu.

Magistritöö koosneb teoreetilisest ja empiirilisest osast. Teoreetilises osas tutvustab autor protsessijuhtimise teooriate tekkelugu ja tootmise arenguetappe. Üksikasjalikumalt selgitatakse timmitud tootmise ja piirangute teooria põhimõtteid ning nende rakendamise eripärasid tootmises. Teooria peatüki lõpuosas annab autor ülevaate kahe protsessijuhtimise teooria koosrakendamise võimalustest. Teoreetilise baasina on töös kasutatud peamiselt inglise keelset erialakirjandust.

Magistritöö empiirilises osas tutvustatakse esmalt töös kasutatavaid uurimismetoodikaid ja uuritavat ettevõtet. Seejärel antakse ülevaade Saku Metall Allhanke tehase tootmisprotsessidest ja analüüsitakse tootlikkuse tulemusnäitajaid. Peatüki teises pooles kirjeldatakse timmitud tootmise ja piirangute teooria rakendamise abil läbi viidud tootmisprotsesside parendustegevusi. Empiirilise osa lõpus tuuakse välja parendustegevused protsesside edasiseks parendamiseks.

Analüüsi teostamiseks kasutatakse nii kvantitatiivseid, kui kvalitatiivseid andmeid. Kvantitatiivseteks andmeteks on ettevõttesisene dokumentatsioon protsesside kohta. Lisaks dokumentatsiooni analüüsimisele, viidi ettevõttesiseste protsesside toimimise kohta kvalitatiivsete andmete kogumiseks läbi ka intervjuud töötajatega ning vaatlused tootmises. Analüüsi käigus kõrvutatakse dokumentatsiooni, intervjuude ning vaatluse tulemusi.

Edasiste tegevuste väljaselgitamiseks, peab lähtuma ettevõtte tootmisprotsesside võimekusest, tootmisbaasist ja infosüsteemidest analüüsi teostamise hetkel. Samuti tuleb arvestada seniste parendustegevuste mõju ning vastavalt teoreetilistele kontseptsioonidele pakkuda välja järgmised sammud ettevõtte konkurentsivõime parandamiseks.

Uurimuse kasu on eelkõige uuritavale ettevõttele, kuid tulemused on üldistatavad ka samalaadsete tootmisprotsessidega ettevõtetele. Magistritöö viimases peatükis tuuakse ka välja, mis aspektid uurimistöö tulemustest on üldistatavad teistele ettevõtetele ning mis on Saku Metall Allhanke spetsiifilised.

# 1. TIMMITUD TOOTMISE JA PIIRANGUTE TEOORIA KOOSRAKENDAMISE VÕIMALUSED TOOTMISPROTSESSIDE JUHTIMISES

## 1.1 Timmitud tootmise põhimõtted ja tehnikad

Käesolev peatükk annab ülevaate timmitud tootmise ja piirangute teooria põhimõtetest ning nende tehnikate kasutusvõimalustest tootmises. Samuti kahe teooria sarnasusest ja erinevustest ning võimalustest neid koos rakendada tootmisprotsesside juhtimises.

Timmitud tootmine (*Lean manufacturing*) on enamlevinud inglise keelsele terminile „*Lean Production*”. Eesti keelde tõlkimisel oli esialgu kasutusel „paindlik tootmine“ ja „kulusäästlik tootmine“ kuid olemasoleva termini „paindtootmine“ (*Flexible Manufacturing*) välistas „paindlik tootmine” variandi kasutamise. Kulusäästliku tootmise termin viitab aga liiga kitsalt kuludele ning ei anna edasi mõtteviisi laialdast haaret. Timmitud tootmine annab edasi kõige paremini pideva parendamise sisu, see tähendab pidevat oma tegevuse ja protsesside täiustamist, et vähendada kulusid, lühendada tarneaegu ja parendada kvaliteeti. (Womack et al. 2010) Käesolevas magistritöös on kasutusel terminid timmitud tootmine, timmitud mõtteviis ja täpselt ajastatud tootmine. Järgnevalt tuuaksegi töös välja nende kolme termini definitsioonid.

Timmitud tootmise on defineerinud Smith ja Hawkins (2004: 16) järgmiselt: „timmitud tootmine on raiskamise vähendamine kõikidel tootmise tasanditel, kaasa arvatud kliendisuhetes (müügis, arvepidamises, teenustes, toote rahulolus), tootedisainis, tarnijate võrgustikus, toodangu voo, hoolduse, inseneritöö, kvaliteedi tagamisel ja tootmise juhtimisel. Selle eesmärk on kasutada vähem inimeste jõupingutusi, vähem varusid, vähem aega kliendinõudluse rahuldamiseks, vähem aega uute toodete väljaarendamiseks ja vähem ruumi kõrgekvaliteediliste toodete tootmiseks, kõige efektiivsemal ja ökonoomsemal moel“.



Timmitud tootmise arengus on mänginud suurt rolli autotööstus, kus olulisemad muutused toimusid Fordi autotehases 20. sajandi alguse üleminekuga käsitööstuslikult tootmiselt masstootmisele. Selle järgnes jaapani autotööstuse kiire areng peale II maailmasõda, tänu Toyota tootmissüsteemile (*Toyota Production System*), mis oli masstootmisest paindlikum. Hiljem võtsid selle süsteemi kasutusele ka teised autootjad: Mercedes Benz, BMW, Ford, jne. (Azzam et al. 2011: 727) 1950-datel aastatel juurutati timmitud tootmist Toyota mootorite tootmisel, 1960-datel autode koostamisel ja 70-datel hakati kaasama kogu tarneahelat (Hines et al. 2004: 994). Läänemaailma tööstusettevõtetes hakati timmitud tootmise ideoloogiat populariseerima varastes 1990-ndates. Esialgu defineerisid timmitud tootmise Womack et al. (1990) raamatus „Masin mis muutis maailma“ (*The Machine that Changed the World*), mis kajastab maailma edukaimaid autotööstusi ja seda tänu timmitud tootmisele. (Sánchez, Pérez, 2001: 1433) Timmitud tootmine arenes kiiresti esialgu just stabiilses suurtööstuses. Mitte juhuslikult levis timmitud tootmine esmalt Jaapanist Lääne-riikide autotööstustesse, põhjuseks oli kasvav nõudlus suuremale mudelivalikule ja Jaapani ettevõtete turuosa kasv USA-s ja Euroopas. (Pepper, Spedding 2010: 140)

Emiliani ja Seymour (2011) väidavad, et tegelikult oli timmitud mõtteviisile sarnane tootmine maailmas juba enne Toyota tootmissüsteemi. Frank George Woollard juurutas aastatel 1923-1925 edukalt Morris mootorite tehases (*Morris Engines Ltd*) täpselt ajastatud tootmise ning jätkas selle arendamist kuni 1931. aasta keskpaigani. Frank George Woollard (1883-1957) oli üks peamisi Briti autotööstuse arendaja aastatel 1910-1931. Woollard'i praktika sarnaneb timmitud tootmisele, kuna pööras suurt tähelepanu toodangu voo juhtimisele ja tootmistsükli lühendamisele. Ta sai aru, et kiire läbilaskevõime ei sõltu ainult tööoperatsioonide korrapärasest ja kiirest täitmises, vaid koosneb kogu ettevõtte koostööst, tarneahela kaasamisest, müügi juhtimisest, jne. Tootmistsükli lühendamiseks viis ta sisse taktiajad, muutes tööoperatsiooniajad ühesuguseks. Lisaks rõhutas ta juhtide otsese osaluse ja eestvedamise olulisust. Tööliste andis ta vabamad käed, saades aru, et nemad on oluline osa protsessist.

Sarnaselt Jaapani autotööstusele, oli ka Briti ettevõtluskeskkond ja turg väiksem, kui Ameerika Ühendriigis. Mugavustega harjunud britid soovisid laialdasemat valikut ja see asjaolu ei võimaldanud Fordi ärimudelit kasutada. Fordi edu seisneski paljude soodsate

tingimuste kokkulangemisel, nagu: suur turg, pikad vahemaad, ühekülgsed tarbijaeelised ja egalitaarsed tulude jaotused. (Tolliday, Zeitlin 1986: 154) Autori hinnangul võis Woollardi jõupingutused olla ajendatud tootmismahtude kasvatamisest, mitte niivõrd tarbija väärtuse teadvustamisest. Tulemusena parandas ta aga ettevõtte võimekust, vähendas üleliigseid tegevusi, mis omakorda kasvatas tarbija väärtust. Tegemist oli ebavajalike toimingute kõrvaldamisega protsessidest, ehk raiskamise vähendamisega.

Timmitud tootmine tekkis vajadusest toota suuremas valikus tooteid, väiksemate partiidena ja korduvalt, kasutades selleks vähem ressursse. Oluline ressurss, mida vähendada on varud tootmisprotsessis. (Wilson, Roy 2009: 817) Timmitud tootmise puhul on tegemist ettevõtte mudeliga, mille eesmärgiks on raiskamise (*waste*) identifitseerimine ja kõrvaldamine ning pidev protsessi parendamine (Motwani 2003: 339). Ka Näslund (2008: 274) väitel on timmitud mõtteviis fokuseeritud eelkõige raiskamise kõrvaldamisele aga rõhutab, et kõiki valdkondi: kliendisuhetes, tarnijate võrgustikes, tootearenduses ning tootmise juhtimises. Sarnaselt väidavad ka Comm ja Mathaisel (2003: 315), et timmitud mõtteviisi keskendub kogu organisatsioonile tervikuna ja selle mõtteviisi olulisemad faktorid on:

- dünaamiline muutuste protsess ja pidev parendamine, mida juhivad süstemaatilised printsiibid ja parimad praktilised eesmärgid;
- eesmärk on kõrvaldada kõik mitte väärtustlisavad tegevused;
- kompleksne süsteem, mis peab hõlmama kogu organisatsiooni, juhtkonnast tarnijani ja kliendi väärtusahelani.

Organisatsioonid tõlgendavad tihti timmitud mõtteviisi põhiolemust, kui tootlikkuse kasvu, kuid Smith ja Hawkins (2004: 12) väitel on peamine eesmärk siiski raiskamise vähendamine/kõrvaldamine tootmisprotsessist. Timmitud mõtteviis rõhutab tarbija väärtust, kuid tihti võrdsustatakse väärtuse loomist, kulude vähendamisega. Kulud küll vähenevad, kuid seda tegevuste kaudu, mis kõrvaldavad ebaolulised tegevused ja kaod, mis omakorda muudab toote/teenuse kliendile väärtuslikumaks. Väärtus on suurenenud ka siis kui pakutakse lisavõimalusi, teenuseid/tooteid, mida hinnatakse kliendi poolt. See võib olla lühem tarne (lühem tootmistsükkel), lisateenused, mitmekülgsem valik, mis ei pruugi lisada kulusid, kuid loovad rohkem väärtust. (Hines et al. 2004: 997)

Toyota tootmisest alguse saanud protsesse parendav mõtteviis (*Toyota Production System*) oli eelkõige kontsentreeritud raiskamise vähendamisele. Shingo (1989: 67) hinnangul moodustas see koguni 80% kogu kontseptsioonist, 15% on tootmise ümberkorraldamine ja 5% tellimuskaartide kasutamine tootmises ehk **Kanban süsteem**<sup>1</sup>.

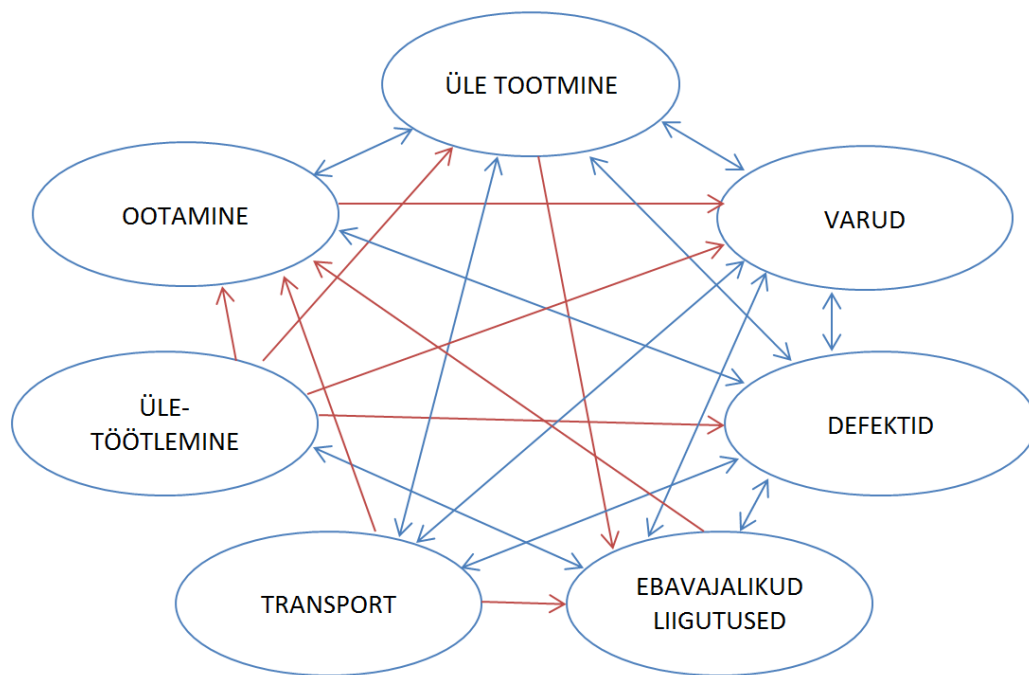
Organisatsiooni äriprotsessid on tihti täidetud töötajate harjumuspäraste toimingutega ja tarbija väärtuse tõlgendamine võib kujuneda iga allüksuse huvidest lähtuvaks. Timmitud mõtteviisi juurutamine eeldab väärtuse väljaselgitamist tarbija seisukohast ja sellest tulenevalt organisatsiooni protsesside ja asjaosaliste suhtumise kooskõlla viimist. Kuna tegemist on kogu organisatsiooni hõlmava mõtteviisiga siis laieneb raiskamise vähendamine või kõrvaldamine nii ettevõttest sisse, kui ka väljapoole. Seitset raiskamist on kajastanud Ohno (1988: 19-20); Smith ja Hawkins (2004: 108-109) järgmiselt:

1. transport – mittevajalik osade transport tootmises;
2. varud – pooltoodang või valmistoodang;
3. ebavajalikud liigutused – mittevajalik liikumine või üleliigsed liigutused;
4. ootamine – töötajad ootavad järgmist ülesannet, tooted ootavad töötlemist;
5. ületootmine – tooted millel pole tellimusi, toodetakse rohkem, kui vajadus;
6. ületöötlemine – üleliigne toote täiustamine, mis ei anna lisaväärtust;
7. defektid – praagi parandamine, uuesti tootmine.

Rawabdeh (2005: 805) on esitanud huvitava lähenemise erinevate raiskamise tüüpidele, kaalude andmisel. Tema väitel pole raiskamise väljaselgitamine veel lahendus, vaid välja tuleks selgitada, millist tüüpi raiskamine on organisatsioonis kõige suurema kaaluga. Selleks esitab ta oma töös seitsme raiskamise omavaheliste seoste maatriksi, ehk millist tüüpi raiskamine on teiste liiasuste põhjuseks. Omavahelisi mõjusid kajastab joonis 1.

---

<sup>1</sup> Kanban on jaapani keelne sõna, tähenda silti või kaarti, mis kannab endas informatsiooni (näiteks mingi komponendi või koostu kohta). Tegemist on tootmise juhtimise informatsiooni süsteemiga, millega toodang tõmmatakse protsessi algusest lõpuni. Üldlevinumad on tootmise Kanban (*Production Kanban, PK*) ja edasitoimetamise kanban (*Withdrawal or Conveyance Kanban, WK*). Tootmise Kanban tähistab komponente või koostusid, mis vajavad töötlemist, edasitoimetamise Kanban tähistab komponente, mis liiguvad edasi järgmisse töökeskusesse (Pegels, 1984: 6-7).



**Joonis 1.** Seitsme raiskamise omavahelised seosed (Rawabdeh 2005: 805).

Kindlasti on erinevat tüüpi raiskamistel erinev kaal organisatsioonides, kuid esitatud maatriksi (vt. joonis 1) puhul on näha, et ületootmine, transport ja defektsed tooted mõjutavad kõige enam ülejäänud raiskamise tüüpe. Samas varud on mõjutatud kõige enam teistest raiskamise tüüpidest. Ületöötlemine seejuures on vähimal määral teistest sõltuv, seda sellepärast, et pole seoses materjalide ning inimressursiga. (Rawabdeh 2005: 819) Lisas 7 on erinevate raiskamiste omavahelised seosed ka üksikasjalikumalt kirjeldatud.

Timmitud mõtteviisi juurutamiseks ja raiskamise vähendamiseks on Womack ja Jones välja toonud peamised viis kategooriat 1996. aastal ilmunud raamatus „*Lean Thinking*“ (viidatud Staats et al. 2011: 378 ja Dahlgaard, Dahlgaard-Park, 2006: 268):

1. Määratle väärtus (*value*) igale tootele, mida toode/teenus kliendile pakub.
2. Identifitseeri väärtuse kulg/voog igale tootele (*value stream*), ettevõtte tegevuste kogum, kus kõik loovad väärtust.
3. Garanteeri toodangu voog (*flow*) ilma tõrgeteta ehk toodangu liikumise sujuvus ilma kõrvaliste (raiskavate) tegevusteta.
4. Lase kliendil tõmmata (*pull*) väärtuslik toode endani, kus iga järgnev töökeskus on eelnevast töökeskuse tellija.

5. Taotle täiuslikkust (*perfection*), mis eeldab kliendi vajaduste tundmist, nende rahuldamist ja pidevate protsesside parendamist, et saavutada null defekti.

Esimene etapp on kriitiline lähtekoht, **väärtuse** defineerimine tarbijast lähtuvalt. Hea väärtuse määratlus võtab arvesse tarbija vajadusi hetkel ja tulevikus. Väärtuse määratlus on mõtestatud, kui tegemist on mingi kindla tootega, mis rahuldab tarbija vajadused, kindla hinna juures ja ajahetkel. (Womack, Jones 2003: 16)

Käesoleva uurimustöö fookuses oleva allhanketöö toodang on enamuses pooltoode, komponendid, mida kasutatakse kliendi poolt lõpptoote koostamisel või toorikud milledele teostatakse järeltöötlust. Väärtus kliendile on seega madal hind, kuna see mõjutab kogutoote lõpphinda. Lisaks on olulise tähtsusega õigeaegsed tarned ning kvaliteet, et mitte takistada kliendi edasist tootmisvoogu. Ettevõtte omanike seisukohast on esmatähtis toote madal omahind, sest allhanke äris on tihti toodetele määratud müügihinna lagi. Shingo (1989: 75) toob siinkohal välja kaks erinevat müügihinna arvestust:

$$Kulud + kasum = Müügihind$$

Mis on levinuim arvestusmetoodika, kuid vähesed saavad seda murelt kasutada. Sisendite (toormaterjali, tööjõu) hindade kasvul on ainus loogiline lahendus tõsta hinda, et kasumi marginaal ei kannataks. Arvestus ei ole protsesside parendamise ja tootlikkuse tõstmise seisukohalt motiveeriv. Samas teine variant, mida Shingo (1989) väitel kasutab ka Toyota on müügihinnale põhinev, ehk:

$$Müügihind - kulud = Kasum$$

Müügihind on fikseeritud, ettevõtte suutlikkus teenida rohkem raha nüüd ja tulevikus sõltub äriprotsesside tõhustamisest.

Teine etapp timmitud mõtteviisi juurutamisel on **väärtusahela kaardistamine** ehk identifitseerida tuleb väärtuse kulg igale tootele. Womack (2003:19) järgi on väärtusahel kõikide tegevuste ja infovahetuse kogum, millega toode või teenus luuakse ja tehakse tarbijale kättesaadavaks. Vastavalt Koskela (1992: 11) määratlusele on tootmisprotsess alamprotsesside kogum, mis muundavad sisendid väljundiks. Kus väljundi väärtus kujuneb protsessi sisendite kuludest, samas kulusid saab vähendada, vähendades

alamprotsesside kulusid. Ehk kitsamalt, tootmisprotsess on vaid üks väärtusahela osa. Väärtusahela kaardistamisel ilmneb peaaegu alati kolme tüüpi tegevusi (Womack 2003: 18):

- tegevused, mis lisavad väärtust;
- tegevused, mis ei lisa väärtust, kuid on protsessis vajalikud;
- tegevused, mis ei loo väärtust ja mida on võimalik protsessist kõrvaldada.

Tootmisprotsessides esinevad tavaliselt kõik ülalloetletud seitsme raiskamise vormid, nende kindlakstegemine ja kõrvaldamine sõltub ettevõttest, selle võimekusest oma protsesse mõõta ning analüüsida. Kõik väärtust mittelisavad tegevused tuleb protsessist kõrvaldada. Väärtust mittelisavad, kuid vajalikud tegevused (tellimuste vormistamine, kvaliteedinõuete seire, seadusest tulenevad nõuded, jne) tuleb optimeerida.

Kolmandaks etapiks on **pideva protsessivoo loomine**, mis tõenäoliselt kõige enam mõjutab meie seniseid arusaamasid. Oleme harjunud tegevusi koondama erinevate funktsioonide ja osakondade lõikes, sest nii tundub tegevus efektiivsem ja juhtimine lihtsam. Ülesannete täitmiseks tundub mõistlikum koondada tegevusi kokku ja sooritada tööoperatsioone partiipõhiselt. Partii tähendab aga alati ooteaegasid. Pideva protsessivoo all peetakse silmas võimalikult väikeste partiide töötlemist, ideaal on ühe toote voog, kus üks toode liigub järjest läbi erinevate tööoperatsioonide, kuni valmimiseni. (Womack 2003:21) Pideva protsessivoo saavutamiseks tuleb tootmisliin tasakaalustada, mis tähendab kõikide tööoperatsioonide ajalist ühildamist tsükliajaga. Ühiseks tsükliajaks on takti aeg, mis kulub toote tootmiseks, et rahuldada tarbija vajadus. Takti aeg arvutakse, jagades puhas saadaolev tööaeg, tarbija soovitud ühikute arvuga. (Dinesh, Gupta 2005: 51) Kui ühes tööpäevas on 8 töötundi ja tarbija nõudlus päevas on näiteks 100 toodet siis taktiaeg:

$$8h / 100 = 4,8 \text{ minutit}$$

Sooritades tööoperatsioone aeglasemalt ei suuda ettevõtte täita kliendi tellimust, tootes kiiremini kui 4,8 minutit toote kohta on tegemist ületootmisega. Ületootmine tekitab varusid, lisandunud tooteid on vaja ladustada, ümber paigutada, transportida, jne., mis

kõik on raiskavad tegevused. Takti aeg on timmitud tootmise fundamentaalne näitaja mille abil protsessivoogu tasakaalustatakse (Simons, Zokaei 2005: 195).

Lander ja Liker (2007 :3683) toovad välja partiitootmise ja varieeruvuse probleemi, mis takistab organisatsioonidel pidevat protsessivoogu saavutamast. Toodete erisused tekitavad suuri varieeruvusi ressursside koormamisel ja partii taktiaegasid on oluliselt keerulisem arvestada, kui ühikupõhisel tootmise. Seega võidakse arvata, et timmitud mõtteviis ei ole sobiv antud keskkonda.

Neljandaks etapiks on **üleminek tõmbepõhisele tootmisele**, kus tootmine toimub vastavalt kliendi soovile ja tellimusele, ehk lattu ilma tegeliku vajaduseta ei toodeta midagi. Womack (2003) väidab, et tõmbepõhine tootmine võimaldab nõudlust stabiliseerida, sest kliendil on kindlus, see mida ta tellib, seda ta ka saab, kiiresti ning kvaliteetselt. Olulise aspekti toovad välja Simons ja Zokaei (2005: 194), et ülevalpool (*upstream*) tootmisahelas ei toodeta enam midagi, kui allpool (*downstream*) vajadus puudub.

Peale seda kui organisatsioon on defineerinud väärtuse, kaardistanud väärtusahela, saavutanud jätkuva protsessivoo ning laseb kliendil toote endani tõmmata, hakkab pideva parendamise ringis ilmne ühe enam parendamist vajavaid kitsaskohti. Saades väärtuse voo kiiremaks, selguvad raiskavad tegevused. Süsteem hakkab ise tööle ja sellega on jõutud viimase viienda etapina, ehk püüdlus täiuslikkuse poole. (Womack 2003: 25)

Kokkuvõtvalt saab öelda, et timmitud tootmine on mõtteviis, mis keskendub kliendi väärtusele. Selle keskmes on raiskavate, väärtust mitteloovate tegevuste vähendamine, protsesside pideva parendamise ja töötajate kaasamine läbi suurema otsustamisvabaduse andmise. Timmitud mõtteviis praktiliseks rakendamiseks on välja töötatud rida tehnikaid, mis on töös järgnevalt välja toodud.

Timmitud mõtteviisist on saanud väga laia haardega meetodite kogum, mis kasvas välja tootmisest aga mida tänapäeval on laiendatud kõikidesse äriprotsessidesse. Liiasuste kõrvaldamiseks ja efektiivseks majandamiseks on erinevad autorid lisanud rida põhimõtteid, mis kõik peaksid abistama kitsaskohtade avastamisel ja nende parendamisel. Käesolev uurimustöö keskendub kitsamalt tootmisprotsessidele parendamisele, seega on

töö fookuses just need timmitud mõtteviisi metoodikad, mis aitavad tootmispiinal (*shop floor*) paremaid tulemusi saavutada.

Timmitud mõtteviisi arendamiseks ja juurutamiseks ettevõttes võib algust teha üksikute osade kaupa või läheneda komplekselt, mahukamate arendusprogrammidega. Organisaatsiooni äriprotsesside, töötajate tegevuste pideva parendamise (jaapani keeles – „*Kaizen*“) ellu rakendamiseks on välja töötatud erinevad tehnikad („tööriistad“). Smith ja Hawkins (2004: 18-112) kirjeldavad enamlevinud tehnikaid järgmiselt:

- 5S protsessi visuaalse läbipaistvuse parandamine;
- seitsme raiskamise identifitseerimine ja kõrvaldamine;
- toodete voo standardiseerimine, mis sisaldab taktiaja (*tact time*) rakendamist, ehk ajaline töötlemisaeg toote kohta. Standard WIP (*work in process*) väikseim kogus varusid tootmises, et töö ära teha;
- väärtusahela kaardistamine (*value stream mapping*) meetod väärtustlisavate tegevuste väljaselgitamiseks. (5% väärtust lisavad, 60% väärtust mittelisavad eba- vajalikud tegevused, 35% väärtust mittelisavad, kuid vajalikud tegevused);
- Kanban (*Scheduling system operates like supermarkets*) – pooltoodete ladu kus tööline on nagu klient kes “ostab” tooteid, signaal väljastatud tootest talletub ühtsesse süsteemi, vajadusel (kogused madalad) rakendub tellimus;
- Poka-Yoke ehk vigade vältimise metoodika, kus mingi operatsioon muudetakse selliselt, et eksimine pole võimalik;
- PDSA ehk Dr W. Edwards Deming *Cycle – plan-do-study (or check)-act* pidev parendamine.

Kõikide eelnevate loetletud „tööriistade“ kõrvale on omalt poolt välja toonud Shingo (1989) Toyota tootmissüsteemi baas printsiibid järgmiselt:

- ületootmisest tingitud raiskamise vähendamine, mis tähendab nii ühikulise ületootmise (toodetakse rohkem kui vaja), kui ajalise ületootmise vähendamist (toodetakse ennem, kui tegelik vajadus seda nõuab);
- Just-in-time (*JIT*) ehk täpselt ajastatud tootmine, mis tähendab, et igas protsess peab olema varustatud täpselt vajalike ühikutega, täpselt vajalikus mahus ja täpselt õigel ajal, ilma ühegi liiasuseta;



- seadmete madal kasutuse määr ehk inimtööjõu ja seadmete suhe. Eeldab, et seadmete ressursi on ettevõttes alati rohkem, kui inimesi ja üks operaator peaks teenindab mitut seadet;
- reageerimine mittevastavustele ehk vigade kõrvaldamine nende ilmnemisel. Eeldab, et iga tekkinud mittevastavust tuleb analüüsida ja kõrvaldada viisil, mis välistab selle uuesti tekkimise.

Tootmisprotsesside läbipaistvuse parendamiseks valitakse tihti esmaseks tehnikaks tootmisruumides 5S meetodika, mis oma viie etapi järgmisega aitab luua korra ja visuaalse läbipaistvuse töökeskustes. Seda meetodit kutsutakse ka “kodukoristuseks” (*housekeeping*), mis ei ole halvustav hüüdnimi, sest tegemist on tööpoolest töökohtade korda seadmisega, seda eesmärgiga parandada ülevaatlikkust tootmises. Tabel 1 kajastab 5S erinevaid etappe, nende nimetusi ja tegevuste kirjeldusi. Eesti keelsed vasted on autori lisatud, allikana kasutatud timmitud põhimõtete koolitaja ja konsultandi Jari Kukkonen koolitusmaterjale.

**Tabel 1.** 5S põhimõtete kirjeldus

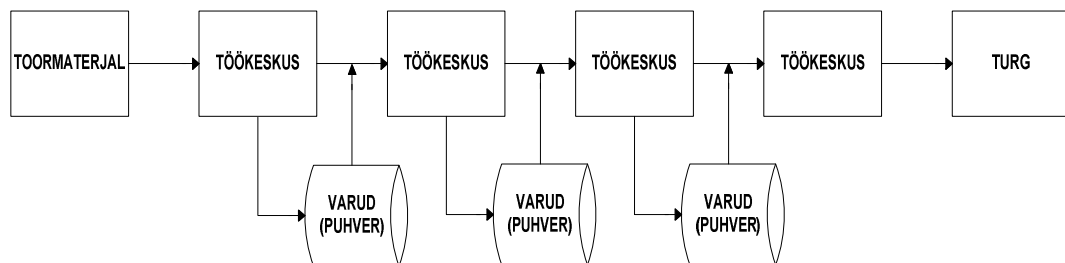
Jaapani keelne termin	Eesti keelne termin	Inglise keelne termin	Tegevuse kirjeldus
<i>Seiri</i>	Sorteeri	<i>Sort</i>	Sorteeri töömaal vajalik ebavajalikust, viska ära kõik mida sa ei vaja.
<i>Seiton</i>	Süsteemiseeri	<i>Set in order</i>	Sea vajalikud asjad korda nii, et neid oleks lihtne leida ja mugav kasutada
<i>Seisio</i>	Sära	<i>Shine</i>	Korista töökoht nii, et seal ei oleks tolmu, mustust ja korralagedust.
<i>Seiketsu</i>	Standardiseeri	<i>Standardize</i>	Juuruta kindlad standardid töökohtadele
<i>Shitsuke</i>	Säilita	<i>Sustain</i>	Treeni ja motiveeri töötajaid hoidma oma töökohtasid korras igapäevaselt ja iseseisvalt.

Allikas: (Ahuja, Khamba 2008: 726; Kukkonen koolitusmaterjal 2012).

Timmitud mõtteviis tootmisprotsesside parendamisel ongi eelkõige ebaolulise tegevuse vähendamine. Shingo (1989: 77-78) järgi on moodustab protsessi järgmistest neljast komponendist: 1) töötlemine 2) kontroll 3) transport 4) ootamine. Neist ainult töötlemine lisab väärtust, ülejäänuid saab liigitada raiskamiseks. Kui vaadata kolme raiskamist eraldi, siis ilma **kontrolliva** tegevuseta päris ei saa, defektsed tooted protsessis omakorda tekitavad raiskamist. Seetõttu tuleks ettevõttes kontroll siduda ära töötlemisega ehk vigade vältimise meetodikaga (*poka-yoke*), mis tähendab näiteks, et töötlemist vaja de-

tail asetatakse spetsiaalsesse rakis, mis välistab vigade tekkimise. **Transpordi** osakaalu vähendamisele aitab kaasa tootmiskeskuste asetuse muutmine, järjestikku seadmine, vahemaade vähendamine, jne. **Ootamise** vähendamine eeldab partiitootmise muutmist ühikupõhiseks (või minimaalne võimalik partii) ja tootmise eriosade sünkroniseerimine. Üheks abivahendiks tänapäevases tootmises on kindlasti infotehnoloogilised lahendused ehk nn ERP<sup>2</sup> (*Enterprise Resources Planning*). Autori hinnangul on tänapäevaste tootmisprotsesside efektiivse haldamise aluseks ettevõtte äriprotsesse integreerivad infosüsteemid, sest tootmistellimuste ohje, töökeskuste tagasiside, toodangu voo konstrueerimine, mittevastavuste ja reklamatsioonide käsitlemine, andmete statistiline analüüs, jne., on suurte tootmismahude korral inimesele ülejõukäiv ja ebatõhus.

Timmitud mõtteviisi üks peamisi toodangu voo juhtimise tööriistu on täpselt ajastatud tootmine, mis baseerub tõmbamise (*pull*) põhimõttele ehk tootmise alustamise impulsiks on nõudlus. Toodangu voog näeb teoreetiliselt välja töökeskuste katkematu jadana, kus toodang liigub ühtlaselt. Lihtsustatult kujutavad Rodrigues ja Mackness (1998: 248) toodangu liikumist joonisel 2:



**Joonis 2.** Täpselt ajastatud tootmise materjali/toodangu voog (*Ibid.*).

Toodangu voo ühtlustamiseks on igas töökeskuses komponentide varud, vältimaks häireid protsessis (*Ibid.*). Timmitud mõtteviisi kohaselt on igasugune varu raiskamine, kuid tootmise voo ühtlustamiseks on teatavad varud põhjendatud. Puhvite tekke põhjustest ja tootmisprotsessi viivitustest on andnud hea ülevaate Shingo (1989), tema väitel on tootmises peamiselt kahte liiki puhvreid/viivitusi, milledeks on:

<sup>2</sup> ERP (*Enterprise Resources Planning*) on arvutitarkvara, mis integreerib kõik ettevõtte äritegevuse võtmeprotsessid ja juhtimise funktsioonid, nagu: finants, personal, tootmine, tarneahela, jne. süsteemi juured on 1960-tes, kui võeti kasutusele arvutipõhine varude arvestus 1970-ndatel ja 80-ndatel arenes materjali planeerimise (*MRP, materials requirement planning*) ja tootmise ajakava (*MPS, Masters Production Schedule*) tarkvarad. 1990-datel integreeriti kõik äriprotsesside ühtsesse süsteemi. (Kakouris, Polychronopoulos, 2005: 68)

- 1) protsessi viivitus (*Process delay*), kui töötlemata toodang üksikult või partiidena ootab töötlemist;
- 2) partii viivitus (*Lot delay*), mis tekib, kui partii töötlemisel ei saadeta töödeldud osi kohe edasi, vaid alles siis, kui kogu partii on valmis.

Protsessi viivituste vältimiseks tekitatakse tootmises puhvrid, näiteks seadmete riketest tulenevate seisakute leevendamiseks kogutakse töödeldud osi riskantsemate operatsioonide järgi. Kvaliteediprobleemide korral varustatakse end asenduosadega ja ületootmine on tingitud juhtide turvatunde tekitamiseks, rahuldamiseks varieeruvat nõudlust. (Shingo 1989: 26-27)

Autori hinnangul on puhvrid tootmisprotsessis osati põhjendatud, sest aitavad toodangu voogu sujuvamaks muuta. Samas nõustub autor väitega, et puhvrid peidavad tegelike probleemide juurpõhjuseid. Isegi kui puhver on vajalik siis käsitletakse seda timmitud mõtteviisis ikka kui viivitust (üleliigse varuna) ja otsitakse parendamise võimalusi (enamasti puhvri mahtu vähendades). Täpselt ajastatud tootmine tähendus tootmises on autori hinnangul, et iga tööoperatsioon toimub täpselt õigel/ettenähtud ajal, selleks vajalikud detailid, komponendid on tarnitud täpselt vajalikus koguses (kui neid vajatakse) ning tööoperatsiooni teostamiseks on kasutatud optimaalne vajalik masin-ja inimressurss. Belekoukias et al. (2014: 2) on esitanud oma töös timmitud mõtteviisi peamiste valdkonnad ning nendega haakuvad tööriistad, mida kajastab tabel 2.

**Tabel 2.** Timmitud mõtteviisi valdkonnad ja tehnikad

Valdkond	Tehnikad
Täpselt ajastatud tootmine (JIT)	Ühikupõhine tootmine ( <i>one piece flow</i> ), toodangu tõmbamine ( <i>pull system</i> ), takti aeg ( <i>takt time</i> ), tasakaalustatud tootmine ( <i>levelled production</i> ) kanban kaardi süsteem, visuaalne kontroll ( <i>visual control</i> ), multifunktsionaalsed töölised ( <i>multifunctional employees</i> ), täpselt ajastatud ostmine ( <i>JIT purchasing</i> ).
Tootmistegevuse hooldus	Seadmete tulemuslikkuse mõõtmine, Ümberseadistamine minutiga ( <i>SMED</i> ), 5S, autonoomne-planeeritud-kvaliteetne hooldus, esmane kontroll enne tootmise alustamist, ohutu ja hügieeniline tootmine.
Automatiseerimine	Vigade vältimise süsteem ( <i>Poka-Yoke</i> ), visuaalne kontroll.
Väärtusahela kaardistamine	Hetke ja tuleviku väärtusahela kaardistamine, voo diagrammid.
Pidev parendamine (Kaizen)	5S, ajurünnakud, pidev voog ( <i>continuous flow</i> ), kanban, viis miksi ( <i>five why</i> ), pareto diagrammid, Ganti graafikud, protsessikaardid, jne.

Allikas: (Belekoukias et al. 2014: 2).

Tabel 2 andmetel on näiteks täpselt ajastatud tootmise tagamiseks välja toodud tehnikad, mis muudavad täpselt ajastamise võimalikuks, mitte ei ole täpselt ajastatud tootmine eraldi tehnika. Samas on ümberseadistamine minutiga (SMED) liigitatud tootmistegevuse hoolduse alla, mis võiks olla vajalik ka täpselt ajastatud tootmises. Autori hinnangul on tehnikate kombineerimise vabadus suur ning erinevate valdkondade parendamiseks saab kokku panna mitmesuguseid arendusprogramme.

Timmitud tootmise juurutamise komplektsematest süsteemidest on tuntust kogenud **14 Toyota põhimõtet**, mis on kirjeldatud neljast suuremast valdkonnast lähtuvalt (Liker 2004: 37-41, Kalle 2007: 91):

### **Pikaajaline filosoofia**

1. Juhtkonna otsused peavad põhinema pikaajalisel filosoofilis-metoodilisel alusel.

### **Protsessid: õiged protsessid toodavad häid tulemusi**

2. Looge protsesside voog, et tuua probleemid esile.
3. Kasutage „tõmbe“ meetodit, et vältida üle tootmist.
4. Ühtlustage töökoormust.
5. Seisake tootmine, kui on probleeme kvaliteediga.
6. Standardiseeritud ülesanded ja protsessid on alus pidevaks parendamiseks.
7. Kasutage visuaalset kontrolli, et ükski probleem ei oleks peidetud.
8. Kasutage ainult kindlat, hästi testitud ja järelproovitud tehnoloogiat.

### **Inimesed ja partnerid: nende arendamine loob lisaväärtust**

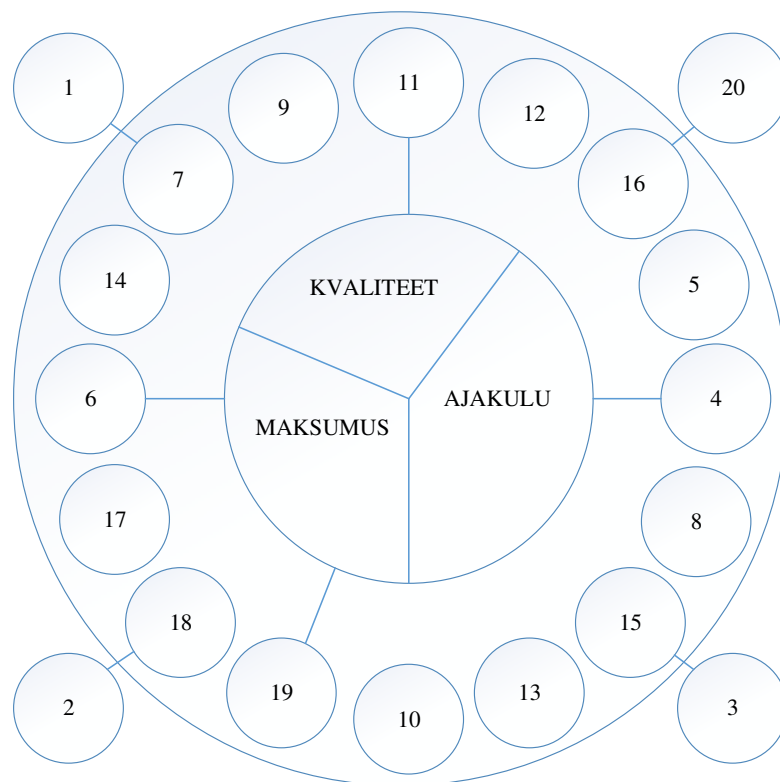
9. Kasvatage juhte, kes tunnevad voogtootmise filosoofiat ja õpetavad seda teistele
10. Austage, kasvatage ja arendage ettevõtte töötajaid ja meeskondi.
11. Austage, arendage ja aidake oma ettevõtte partnereid ja tarnijaid.

### **Probleemide lahendamine ja õppiv organisatsioon**

12. Mine ja uuri ise, selleks et paremini aru saada probleemidest ning olukordadest.
13. Tehke otsuseid rahulikult, konsensusel alusel ja arvestades kõiki võimalusi; rakendage kiiresti.
14. Pidevalt parenduva ja õppiva organisatsiooni loomine.

Loetletud 14 põhimõtet on enam süstematiseeritud, võrreldes Womack ja Jones'i viie põhimõttega, kuid suunitlus on sama. Tegevusi on lisatud ja kirjeldatud täpsemalt, kuid on oht keskenduda valedele ülesannetele, sest tegevuste järjekord jääb segaseks.

Ettevõtte tootlikkuse tõstmise üks põhjalikumaid süsteeme on 20 võtit (20 keys), mis koosneb 20-st rakenduslikust ja omavahel haakuvast meetodist organisatsiooni konkurentsivõime tõstmiseks. 20 võtme süsteemi töötas välja Jaapani professor Iwao Kobayashi eelmise sajandi viimasel veerandil (Kalle 2007: 86) Kobayashi 20 võtit on kirjeldatud lisa 8. Võtmete jaotust on graafiliselt kujutanud joonisel 3, kus kõikide võtmete arvesse võtmisel tagatakse pideva parendamise protsess. Selle tulemuseks on kasvav tarbija väärtus läbi parema kvaliteedi, odavama hinna ja väiksema ajakuluga tootmisprotsessides. Esmasteks, eriti olulisteks võtmeteks on 1, 2, 3, mida ettevõtte peaks juurutama esimesena ja viimaseks võtmeks peaks jääma 20, mis iseloomustab olukorda, kui on juurutatud kõik eelnevad 19 võtit. (Gupta 2012: 75)



**Joonis 3.** Tootlikkuse tõstmise 20 võtit (Gupta 2012: 75; Zantinga 1993: 41).

20 võtme juurutamiseks võib ettevõtte ise valida millistele tegevustele keskenduda, võtmed saab grupeerida viieks suuremaks valdkonnaks, mis on (Kalle 2007: 87):

- 1) töökohtade täiustamine (võtmed 1,2,3 ja 10),
- 2) kvaliteedi parendamine (võtmed 7,9,11,12 ja 15),

- 3) kulude vähendamine (võtmed 13,14,6,17 ja 19),
- 4) protsessivoo parendamine (võtmed 5,4,16 ja 8),
- 5) tehnoloogia arendamine (võtmed 18 ja 20).

Juurutamise tulemuslikkust saab hinnata skaalal üks kuni viis, madalaim hinne on üks ja kõrgeim viis. Seega saab kogutulem olla 20 (iga võtme eest üks punkt) kuni 100 punkti. Hindamine on aluseks parenduste elluviimiseks, samas võimaldab hindamise süsteem võrrelda erinevaid ettevõtteid, sõltumata nende suurusest ja tegevusalast. Süsteemi juurutamisel on määrava tähtsusega juhtkonna eestvedamine, töötajate kaasamine ja motiveerimine (Kalle 2007: 89-90)

## 1.2 Piirangute teooria põhimõtted ja tehnikad

Piirangute teooria (*Theory of Constraints*) kujunes 1970-date teises pooles, kui Eliyahu Goldratt hakkas otsima lahendusi tootmise problemaatikale. Erinevalt tema eelkäijatest lähenes ta põhjus-tagajärg loogikaga, arvestades seejuures ettevõtte peamist eesmärki (*goal*), milleks on teenida raha nüüd ja tulevikus (Stein 1997: 2). Ülemaailmset tuntust kogus Goldratt tööstusromaaniga „Eesmärk“ (*The Goal*), mille peamiseks eesmärgiks oli propageerida piirangute juhtimist toomises, pudelikaelte otsimist, nende lahendamist viie pideva parendamise sammuga. Hiljem töötas Goldratt välja mõtlemisprotsessid, mida ta propageeris raamatus „Asi pole vedamises“. Mõtlemisprotsessidest on saanud piirangute teooria üks nurgakivi, mis keskendub kolmele peamisele küsimusele:

- 1) Mida muuta?
- 2) Milliseks muuta?
- 3) Kuidas seda ellu viia?

Et muutusi edukalt ellu viia, tuleb esmalt aru saada, mida see muutus kaasa toob. Muuta ei ole vaja muutmise pärast, vaid tähtis on tulem, mis muutuse tagajärjel tekib. Kui ei suudeta hinnata lõppresultaati siis võib muutus tuua hoopis kasu asemel kahju. (Stein 1997: 2) Dettmer (2001) peab fokuseeritult probleemile keskendumist piirangute teooria üheks oluliseks tugevuseks, kuna ei püüa muuta korraga kogu organisatsiooni.

Piirangute teooria vaatleb protsessi/organisatsiooni keti analoogiana, kus kogu süsteem on täpselt nii tugev, kui keti kõige nõrgem lüli. Piirangute teooria eesmärk on teha kind-

laks nõrgim lüli (piirang), tugevdada seda senikaua, kuni see pole enam piiravaks teguriks süsteemis. Kui laiendada seda mõtteviisi, siis olgu kett kui tugev tahes, ikka leidub selles vähemalt üks lüli, mis on teistest nõrgem. Seetõttu võib piirangute teooriat vaadelda kui pidevat täiustamise protsessi, sest ükskõik kui hästi organisatsioon areneb on vähemalt üks kitsendus, mis piirab saada veel paremaks. (Pegels, Watrous 2005: 303) Piirangute teooria saab jagada kolmeks suuremaks valdkonnaks (Rahman 1998: 337):

- juhtimisprintsiibid (viis pideva parendamise sammu, trumm-puhver-nöör (*drum-buffer-rope*), puhvite juhtimise süsteem);
- mõtlemisprotsessid (*thinking process*);
- Juhtimisarvestus.

Mabin ja Balderstone (2003: 570-571) jagavad piirangute teooria valdkonnad kaheks, millest esimene keskendub **tulemuslikkuse mõõtmisele** ja teine **tulemuslikkuse parendamisele**. Tulemuslikkuse mõõtmine sisaldab endas finantsjuhtimise meetmeid, et mõõta süsteemi tulemuslikkust ja võrrelda püstitatud eesmärkidega. Tulemuslikkuse parendamine keskendub piirangute juhtimisele läbi viie parendamise sammu ja puhvrite juhtimisele ning probleemilahendamise (mõtlemisprotsesside) tööriistadele.

Boyd ja Gupta (2004) väitel on piirangute teooria orienteeritud peamiselt toodangu läbilaskevõimele. Tootlikkuse suurendamine peab olema ettevõtte peamine eesmärk, mitte tegevuskulude vähendamine. Parim viis raha teenimiseks on tootlikkuse tõstmine, kuid see ei tähenda, et varude ja tegevuskulude vähendamine oleks tähtsusetu. Pigem saab seda nimetada üheks osaks piirangute teooriast. Scheinkopf (1999: 14) toob välja väärtuse, kui protsessi investeeritud raha hulk on väiksem, kliendi poolt makstud raha hulgast. Väärtust luuakse vaid juhul, kui tegevusest tõuseb tulu ehk teenitakse kasumit. Kõige tavapärasemaks väärtuse mõõdupuuks kasumit taotlevas ettevõttes peab ta raha. Raha teenimisel, väärtuse loomisel on aga alati rida piiranguid. Piirangute teooria eristab peamised kolme liiki piiranguid, kõik kolm piirangu tüüpi esinevad mis tahes süsteemis, mis tahes ajal ja nad on omavahel seotud. Piirangute tüübid on (Scheinkopf 1999: 16): 1) poliitilised piirangud, 2) paradigma piirangud, 3) füüsilised piirangud.

Organisatsiooni poliitika on eeskirjade ja meetmete kogum, mis paneb paika selle kuidas ettevõtte selle konkreetsetes äris tegutseb. Ettevõtte seismine poliitika määrab ära ka

füüsilised piirangud ja selle kuidas (ja kas) need on juhitud. Poliitika määratleb, kuidas ettevõtte turustab oma toodangut, kuidas toimub ostmise tarnijatelt ja kuidas toimub tootmise juhtimine tehases. **Poliitilised piirangud** on aga need reeglid ja meetmed, mis takistavad ettevõtet muutusi ellu viia ja edasi arenemast. Kirjutatud ja kirjutamata reeglid, mida inimesed on organisatsioonis omaks võtnud ja mida nad järgivad. **Paradigma piirangute** puhul on tegemist uskumuste või eeldustega, mis ei lase meil näha, järgida ja võtta omaks poliitilisi piiranguid. **Füüsilised piirangud** on need, mis füüsiliselt piiravad süsteemi läbilaskevõimet. (Scheinkopf 1999: 18) Füüsiline piirang võib olla nii organisatsiooni sisene, kui ka väline. Kui organisatsiooni toodangu maht ületab turu nõudluse siis piirang asub turul. Vastupidisel juhul on piirang organisatsiooni sisene. (Gardiner et al. 1993: 69) Näiteks, kui organisatsioon on võimeline tootma aga toormaterjali ei jätku või mõne seadme läbilaske võime ei võimalda rohkem toota siis on tegemist ettevõttesises piiranguga. Lihtne on määratleda piirangut, kui tegemist on konkreetse seadmega aga tänapäeval on piiranguks pigem mingite spetsiifiliste oskuste puudumine, näiteks protsessijuhtimise kompetentsi puudulikkus. Tänapäeval asub enamikel ettevõtetel piirang turul (Scheinkopf 1999: 16).

Igas organisatsioonis on vähemalt üks, äärmisel juhul mitu, füüsilist piirangut, mis määrab ära süsteemi läbilaskevõime. Pideva parendamise võti seisneb selles, mida ettevõtte teeb nende piirangutega. Goldratt tõi oma tööstusromaanis „Eesmärk“ (*The Goal*) välja viis protsessiparendamise sammu, millega juhtida piiranguid. Viite sammu on arvukalt kajastatud kirjanduses ja tänu sellele on paljud ettevõtted üle maailma saavutanud häid tulemusi oma protsesside parendamisel. Need viis sammu on (Goldratt, 1990, viidatud Rahman 1998: 337 ja Scheinkopf 1999: 17):

1. **Identifitseeri piirang.** Piirang võib olla füüsiline (materjal, tehnika, inimesed, nõudluse tase) või juhtimisest tingitud. Üldiselt on organisatsioonidel vähe füüsilisi piiranguid, enamasti on need juhtimisest sõltuvad (protseduurid, regulatsioonid, tehnikad, jne).
2. **Otsusta kuidas piirangut kasutada.** Kui piirang on füüsiline siis on eesmärgiks teha piirang võimalikult tõhusaks. Juhtimisest tingitud piirangu korral tuleks muuta poliitikat, et saavutada suurem läbilaskvus.



3. **Allutada kõik muu eelnevatele otsustele.** See tähendab, et kõik teised süsteemi komponendid (mitte-piirangud), tuleb kohandada toetamaks piirangut võimalikult tõhusalt, sest piirang määrab ära kogu ettevõtte suutlikkuse. Süsteemi sünkroniseerimine piiranguga võimaldab ülejäänud ressursse paremini ära kasutada.
4. **Tõsta piirangu läbilaskevõimet.** Kui piirang on süsteemis endiselt kõige kriitilisem siis tuleb tõsta selle läbilaskevõimet. Kui seda on võimalik saavutada siis kasutatakse süsteemis efektiivsemalt ära ka mitte-piiranguks olevad töökeskused. Peale piirangu likvideerimist tekib süsteemi tõenäoliselt uus piirang.
5. **Kui piirang on likvideeritud siis mine tagasi esimese sammu juurde.** Ära lasse inertsil saada uueks piiranguks. See samm muudab piirangute teooria pideva parendamise protsessiks.

Coman ja Ronen (1995: 66) on lisanud viiele sammule veel kaks eeldust, mis peaksid olema eelnevalt ära määratletud, need on: 1) Defineeri süsteemi eesmärk 2) Määratle süsteemi üldised ja kitsamad mõõdikud. Need kaks lisa sammu on olulised organisatsiooni liikmete fookuse seadmisel, saamaks aru kogu süsteemi eesmärgist ja määratleda mõõdikud, millede järgimine võimaldab protsessi juhtida. Mõõdikute määratlemisel on piirangute teooria toodud välja kolm näitajat, millest lähtuvalt saab teha otsuseid (Stein 1997: 6, Goldratt, Cox 1998: 84-85):

- 1) Jääktulu (T) – millega ettevõtte genereerib raha müügi kaudu;
- 2) Investeeringud (I) – kogu raha, mis ettevõtte on investeerinud kaupa, mida ta plaanib müüa;
- 3) Tegevuskulud (OE) – raha mida ettevõtte kulutab selleks, et muuta varud kaubaks.

Kõiki kolme mõõdikut T, I ja OE peab otsuste tegemisel vaatama koos, näiteks mingi töökeskuse uuendamisel (seadme soetamisel), investeeringu maht esialgu kasvab, kas sellest läbilaskemahud suurenevad, tegevuskulud vähenevad ja suureneb saadav tulu. Eesmärgiks peaks olema alati puhaskasumi (NP) ja investeeringutasuvuse (ROI) kasv. (Stein 1997: 7) Hadas et al. (2009: 2127-2128) väidavad, et kolm mõõdikut on omavahelises sõltuvuses, ühe muutudes, muutuvad ka teised. Piirangute teooriast lähtuvalt on rõhk jääktulu kasvatamisel, läbi protsessi läbilaskevõime tõstmise. Investeeringute ja tegevuskulude mahu suhe teenitud tuludesse, peavad ideaalis aga vähenema. Sama lä-

henemist on kirjeldanud ka Watson et al. (2007: 393-394), piirangute teooria küll tähtsustab kulude vähendamist, kuid peamiseks eesmärgiks on jääktulu suurendamine. Tavapärase juhtimise fookuses on esmalt tegevuskulude vähendamine, mis aga võib tekitada omakorda piirangu tulu teenimiseks. Goldratt, Cox (1998: 84-85) on defineerinud **investeeringut** kui **laoseisu**, tegemist on kogu rahaga mille süsteem on investeerinud kaupade ostmisse, mida ta kavatseb müüa. Laoseisu alla kuuluvad ka seadmed, hooned, inventar, jne. Ehk see kapitalimahutuse osa, mis (seadmes, hoones) veel alles ja mida saab maha müüa. **Tegevuskulud** omakorda on kogu raha, mida süsteem kulutab selleks, et muuta laoseis tuluks. Rõhk on tulu suurendamisel, samal ajal vähendades tegevuskulusid ja laomahtu. Aktsepteeritav on ka olukord, kus tegevuskulud ja/või laoseis vähenevad aga tulu jääb samaks. Loetletud kolme mõõdiku abil saab välja kirjutada kaks valemit 1 ja 2 (Stein 1997: 7):

$$(1) \quad NP = T - OE$$

$$(2) \quad ROI = \frac{T - OE}{I}$$

kus	NP	- puhaskasum ( <i>net profit</i> )
	T	- jääktulu ( <i>throughput</i> )
	OE	- tegevuskulud ( <i>operating expense</i> )
	ROI	- investeeringutasuvus ( <i>return on investment</i> )
	I	- investeeringud ( <i>investments</i> )

Valemi 1 osas puuduvad kirjanduses täpsustused, milliseid kulusid sisaldavad tegevuskulud (OE), majandusarvestuse sisukohalt on tegemist ärikasumi leidmisega. Samas investeeringu tasuvus (return on investment) arvutatakse klassikaliselt puhaskasumi jagamisel koguinvesteeringuga. Tootmisettevõtte puhul tuleks investeeringuna võtta arvesse reaalinvesteeringuid ehk kapitalimahutusi, mis on tehtud põhivarade ja käibevarade soetamiseks tootmistegevuse võimaldamiseks. Goldratt, Cox (1998: 102) järgi on seadmete amortisatsiooni puhul tegemist tegevuskuludega. Seega saab järeldada, et amortisatsiooni on samuti puhaskasumi (NP) arvutamisel arvesse võetud. Piirangute teooria, kui pideva parendamise protsessi võtab kokku Rahman (1998: 337) järgmiselt:

- Igas süsteemis on vähemalt üks piirang. Kui see poleks tõsi siis võiks kasumit taotleva ettevõtte majandustulemused (kasum) olla lõpmatu;

- Piirangu olemasolu loob parendamise võimalused. Erinevalt tavapärastest mõtlemisest, vaatleb teooria piirangut kui positiivset nähtust, sest piirang loob limiidid, mille parendamisel on võimalik süsteemi võimekust tõsta.

Tähelepanu väärib siinkohal asjaolu, mida Rahman (1998) väidab teises punktis, et piirang on positiivne nähtus, mis loob võimaluse teadlikult juhtida. Piirangu identifitseerimine annab võimaluse näha ja teadvustada, mis määrab organisatsiooni läbilaskevõime. Kui on olemas mõõdik, siis saab ka juhtida. Kui võrrelda kahte tööstusromaani: „*The Goal*“ ja „*Velocity*“ lähenemist piirangutele siis esimene keskendus Goldratti viiele sammule, kui pidevale parendamisele, ehk piirang tuleb muuta mittepiiranguks, kuid see omakorda tekitab juurde järgmise piirangu, sest läbilaskevõime kasvuga jääb hätta järgmine lüli ahelas. Hilisem raamat keskendub enam piirangu juhtimisele, rõhk on stabiilsusel. Kui piirangu läbilaskevõime on kooskõlas ettevõtte eesmärgiga siis pole mõtet tõsta selle läbilaskevõimet, kuna piirangute „rändamine“ toob kaasa rohkem segadust ja kannatab kogu ahela tegutsemise võime.

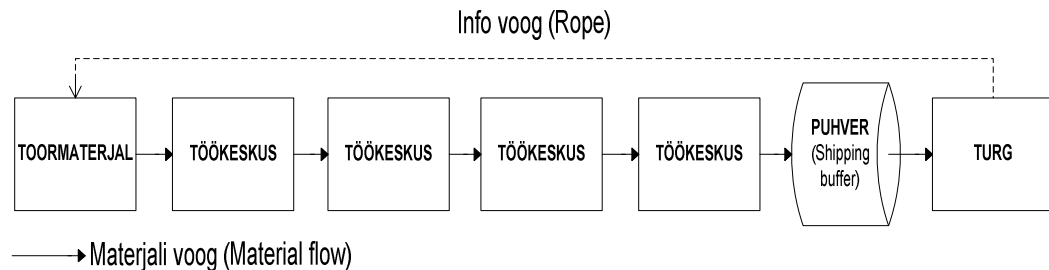
Piirangute teooria tootmises keskendub piirangute juhtimisele, mille praktika keskmes on Goldratti viis sammu ning mis keskendub toodangu voo juhtimisele. Piirangute teooria lähenemine tootmisprotsessi sünkroniseerimisele on segu lükkamisest ja tõmbamisest (*push and pull*), mida nimetatakse trumm-puhver-nöör (*drum-buffer-rope*) süsteemiks (Goldratt 1990, viidatud Rodrigues, Mackness 1998: 249). Piirangu ehk pudelikaela (*bottleneck*) väljaselgitamisel ja selle maksimaalse võimsuse määratlemisel, hakkab see protsessi dikteerima (trumm), allutades kogu ülejäänud protsessi piirangule, tekib ühtne ahel, kus info (nöör) edastatakse materjali väljastamiseks, vastavalt piirangu läbilaske võimele.

Süsteemi eesmärgiks on tootmismahu läbilaskevõime maksimeerimine, samal ajal minimeerides lõpetamata toodangu varusid. Varude tase tootmises on madal, sest puhvrid asuvad vaid piirangute ees ja mitte-piirangud omavad täiendavat tootmisressurssi, et kaitsta toodangu voogu varieeruvuse eest. Eeldusel muidugi, et varieeruvus pole nii suur või mitte-piirangu üleliigne ressurss nii väike, et mitte-piirangust saaks piirang (Watson, Patti 2008: 1872). Trumm on seega tootmise sünkroniseerimine, mis paneb paika töötlemise alguse ja lõpu aja vastavalt piirangu võimekusele.

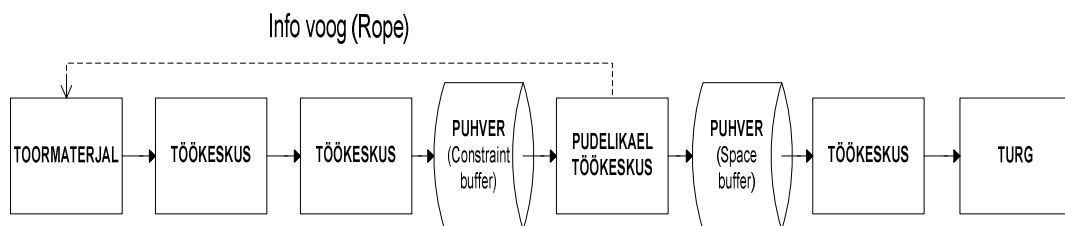
Järgmine komponent kogu süsteemis on puhver. Puhvriks nimetatakse materjali-de/komponentide ooteaega enne järgmise protsessi osa (Fry et al. 1991: 14). Puhvrid asuvad pudelikaela ja turu ees (*shipping buffer*), et kaitsta süsteemi võimalike häirete eest. Tegemist on ajalise mehhanismiga, mis on seatud eesmärgiga vältida olukordi, kus midagi läheb valesti.

*Puhvri aeg = töötlemisaeg + seadistusaeg + hinnanguline koguaeg, et kindlustada toote jõudmine puhvrisse.*

Süsteemi sünkroniseerimist trumm-puhver-nöör meetodiga iseloomustavad joonised 4-6. Millest joonisel 4 on tegemist puhvriga turu ees ja mille eesmärgiks on kindlustada tarnekindlus, et toode jõuaks kliendini õigel ajal.



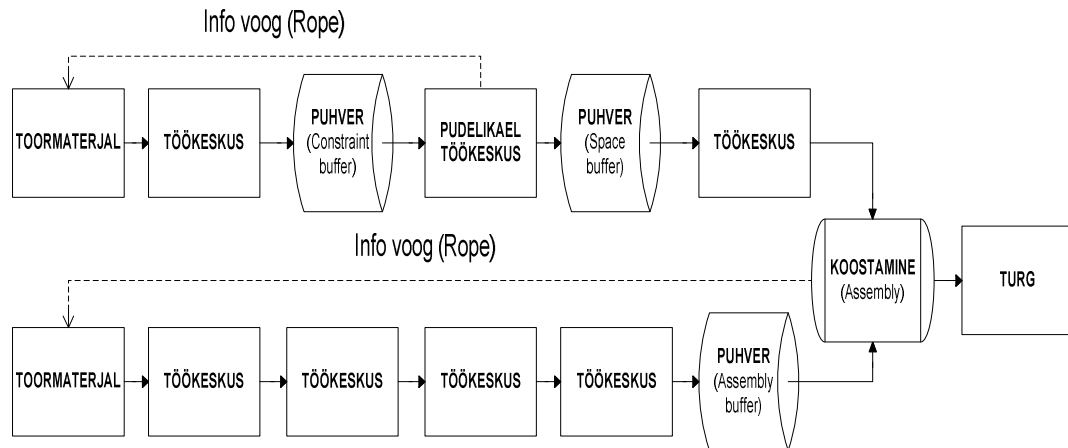
**Joonis 4.** Tootmisprotsessi sünkroniseerimine trumm-puhver-nöör abil, (Watson et al. 2007: 392).



**Joonis 5.** Tootmisprotsessi sünkroniseerimine trumm-puhver-nöör abil, kui protsessis esineb piirang (*Ibid.*).

Joonisel 5 asub puhver töökeskuse ees, et vältida piirangu „nälga jäämist“. Piirangu tootmisvõimsus dikteerib materjali väljastamist tootmisprotsessi. Eelduseks, et kõik piirangule eelnevad ja järgnevad töökeskused omavad lisavõimsust ja puhvreid ei vaja.

Ka Shams-ur Rahman (1998: 340) on välja toonud lisaks piirangu ja turueelsele puhvri-  
le, veel koostamise puhvri (*assembly buffer*), mille ülesandeks on vähendada häireid  
alamkoostude komplekteerimisel. Piirangu läbivad komponendid komplekteeritakse  
näiteks sisse ostetavate või teiselt tootmisliinil toodetavate komponentidega. Sarnaselt  
kolme puhvri süsteemi on kirjeldanud ka Stein (1997: 105-106) Joonisel 6 on kajastatud  
kahe tootmise ahela skeemi, kus puhvrid asuvad pudelikaela ja koostamise ees.



**Joonis 6.** Komplekteerimist vajavate osade tootmisprotsessi sünkroniseerimine trumm-  
puhver-nöör abil, piiranguta- ja piiranguga protsessis (Watson et al. 2007: 392).

Infovoog (nöör) liigub nii pudelikaela töökeskusest, kui ka koostamise töökeskusest  
materjali vabastamise signaaliga algaasi. Ehk tegemist kolmanda komponendiga kogu  
süsteemist, milleks on infovoog ehk nöör (*rope*). Trumm-puhver-nöör süsteemi käitami-  
se informatsioon sünkroniseerib kogu süsteemi erinevate ressursside vahel ja millega  
antakse käsklus erinevate operatsioonide teostamiseks (Stein 1997: 105-106).

Autori hinnangul on valdavalt reaalsed tootmisprotsessid keerukamad, kus toode koos-  
neb esmalt detailide tasandist, mis omakorda koostatakse üheks või mitmel tasandil  
alamkoostudeks ning seejärel alles lõpptooteks. Kõiki detaile ja koostusid ei pruugita  
valmistada ühe tehase piires, vaid ostetakse sisse ka välistelt koostööpartneritelt. Seega  
on tootmisettevõttele iseloomulikum komplektne puhvrite juhtimise süsteem, kuhu on  
kaasatud kõiki kolme ülalpool kujutatud jooniste 4–6 variatsioone.

Puhvrite juhtimine eeldab protsessi jälgimist, kas visuaalselt või spetsiaalse arvutiprogrammi abil. Puhvri mahu järgi saab otsustada, kas kiirendada tootmisprotsessi või vähendada puhvri mahtu. Kui puhvri maht langeb alla 2/3 siis tuleks protsessi enne piirangut kiirendada. Juhul kui tootmisprotsessis 90% toodangust valmib ilma protsessi kiirendavate sekkumisteta, võib vähendada puhvrite mahtusid. Ehk pidev sekkumine protsessi võib anda märku väikse mahuga puhvrist, samas vajadus sekkuda harva on märk liigsuurtest varudest puhvris. (Gardiner et al. 1993: 73) Puhvrite visuaalseks juhtimiseks kasutatakse ka nn valgusfoori värvide analoogiat, mis on puhvri jälgimise ja parendamise tööriistaks, puhvri suuruse määramisel. Tellimuste puhvriaeg on jagatud kolmeks:

- 1) Roheline – näiteks esimene kolmandik puhvriajast, kus kõik on korras, parendavad tegevusi pole vaja teha;
- 2) Kollane – teine kolmandik, kus peab sekkuma, et tellimus ei hilineks;
- 3) Punane - tellimuse õigeaegne täitmine on ohus ja tuleb tegutseda kohe.

Puhvrid, kus tellimuste seisuaeg ei ületa kunagi kolmandikku (roheline tsoon), on liiga suured ja tuleb vähendada. Samas puhvrid, kus enamus tellimusi jõuavad kollasesse ja punasesse tsooni, on märk liiga väiksest puhvriajast. (Hadas et al. 2009: 2128)

Protsessivoo ühtlustamiseks on oluline keskenduda piirangu läbilaskevõimele ning esmajoones parendada just seda. Füüsilise piirangu (seade, inimene) puhul on võimalus suurendada tööaega vahetustega, lihtsustada tööoperatsioone, kiirendada masina tööd, vms., kuid seda ei saa teha lõputult, kuskil on piir. Varieeruvate toodete puhul ja töödeldes partiides on suure tõenäosusega vaja töökeskus ümber seadistada. Timmitud mõtteviisi erialakirjanduses on sagedalt propageeritud Dr. Shigeo Shingo loodud kiirete üleminekute tehnikat „ümberseadistamine minutiga“ *Single-Minute Exchange of Die* (SMED). Stein (1997: 22-24) toob välja selle tehnika kasutamise tähtsuse ka piirangute teooria rakendamisel, kus rõhk on piirangu seadistusaegade vähendamine. Üldiselt ei kuulu SMED piirangute teooria tehnikate hulka, kuid see annab tunnistust, et erinevate tehnikate kombineerimine võimaldab paremaid tulemusi saavutada.

**Trumm-puhver-nööri juurutamisega** tuleks alustada tellimuste järjekorda seadmisest, vastavalt sellele, milliseid ressursse need tooted tarbivad. Ehk trummi-takti loomiseks tuleks esmalt veenduda, et lubatud tähtajad ja vajalik võimekus on kooskõlas. Peab

olema piisavalt vaba ressursi, et kõikide müügitellimuste tähtajad oleks õiglaselt määratud. Puuduvad konfliktid tellimuste vahel, et mitu tellimust ei koormaks sama ressursi (piirangut) ühel ajal. Soovituslikult võiks panna paika lähetus puhvri (*shipping buffer*) aja, et kaitsta tellimust võimalike hälvete eest viimases faasis enne välja saatmist. Selleks tuleks ära määrata iga töökeskuse töö- ja seadistusajad, samuti tuleb kokku leppida puhvriajad. Peale võimekuse kaardistamist ja puhvriaegade kehtestamist, tuleb ära määrata tellimused, mis on vaja toota. Alustades viimasest, mille tähtaeg on ajahorisondil kõige kaugem ning kõrvutades saadaolev ressurss, joonistub välja ettevõtte võimekus toota tellimused tähtaegselt. **Trummi** juurutamisel tuleb esmalt kaardistada operatsiooni teostamine töökeskuses, mis on kõige enam koormatud (pudelikaela järgi). Oluline moment tasandamisel on ajahorisondi nihkumine, mitte kaugemale vaid lähemale, ehk tellimuse täitmise tähtaega ei nihutata aga algustähtaeg nihkub varasemaks. Seda juhul, kui töökeskuse ressursi ei saa suurendada aga eespool on ruumi, et varem alustada. (Stein 1997: 108)

Autori hinnangul on ajaline nihe ettepoole teostatav, kui vajalik varu on olemas, varu ka toodetavatele toodetele. Stein (1997) toob ka välja võimaliku variandi, kui vajalikke komponente pole ühel tellimusel, siis saab selle asendada teisega, mille tootmist saab alustada. Tellimuste ajaline teostamise aeg graafikus positsioneerub ringi.

**Nööri** (*rope*) juurutamisel tuleb silmas pidada informatsiooni liikumisel, vajalike varude vabastamiseks. Selleks peab võtma arvesse puhvriaegasid, et kaitsta voogu võimalike hälvete eest. Tootmise vaheetappides vajaminevate varude õigeaegseks lähetuseks tuleb silmas pidada järgmist (Stein 1997: 112):

- nende toodete jaoks, mis läbivad piirangut – trummi graafik miinus piirangu puhver võrdub vabastamise tähtaeg;
- tooted, mis piirangut ei läbi – müügitellimuse tähtaeg miinus lähetuse puhver võrdub vabastamise kuupäev;
- tooted, mis ei läbi piirangut aga komplekteeritakse ja läbivad koostamise puhvrit, dikteerib vabastamisel koostamise puhvri tähtaeg.

Autori hinnangul aitab kirjeldatud trumm-puhver-nöör (*DBR*) tellimuste graafiku koostamine juba esialgu aru saada, kui reaalne üldse on tähtajas püsida ning mis selleks te-

gema peaks. Isegi kui tootmise mahud ja tellimuste detailsusaste ei võimalda koheselt terviklikult tööriista juurutada, võib seda teha kitsas tootegrupis, kus on võimalik tellimusi hallata inimesel ilma spetsiaalse tarkvaralahendusega.

Piirangute teooria tehnikate arvukus on mõnevõrra väiksem, kui timmitud tootmisel, kuid nende eesmärk on jõuda alati probleemi tuumani. Kasutades mõtlemisprotsesse konfliktide lahendamisel või Goldratt'i viite sammu piirangute juhtimisel, saab keskenduda vaid nendele tegevustele, mis annavad kõige tõhusama tulemi. Lisades nendele tehnikatele timmitud mõtteviis nn korrastavaid tegevusi (5S, SMED, Poka-Yoke, vms), saab protsessijuhtimise kvaliteeti oluliselt parandada.

### **1.3 Timmitud tootmine ja piirangute teooria tootmisprotsesside juhtimises**

Timmitud tootmise pooldajate arvates on igasugune varu raiskamine (Ohno, 1988, p. 54 viidatud Boyd, Gupta 2004: 361) või isegi kuritegu ja peamine timmitud tootmise fookus on varude viimine minimaalsele tasemele. Seda on võimalik saavutada vähendades, või ära kaotades seadistamisajad, minimeerides transporti, töötajate liikumise vahemaid, minimeerides varieeruvust, tasakaalustades pidevalt tööoperatsioone, jne. Timmitud tootmist võib pidada minimaalsete või ideaalis ka null varudega süsteemiks (Shingo, 1988, p. 298 viidatud Boyd, Gupta 2004: 361). Piirangute teooria seevastu keskendub toodangu läbilaskevõimele, paigutades varud strateegilistesse kohtades ehk piirangute ette, et sellega vähendada varieeruvust ning kasutada ära efektiivsemalt piirangute ressursse. Varude tase süsteemis on aga madal, sest teoreetiliselt ei oma mitte-piirangutest töökeskused mingeid varusid, kuna suudavad tänu täiendavale võimsusele toota jooksvalt, ilma järjekorrata (Boyd, Gupta 2004: 361).

Toyota tootmissüsteemi peamine arendaja Taiichi Ohno eesmärgiks oli efektiivsuse tagamine läbi tootmisprotsessi tasakaalustatud mahtude saavutamisega. Goldratt nägi aga tasakaalustatud tehases ohtu ning keskendus rohkem protsessi piirangute juhtimisele. Sama vaadet pooldab ka Dettmer (2001), kes väidab, et timmitud mõtteviis võitleb varieeruvusega ning üritab seda igal juhul elimineerida, piirangute teooria järgi on varieeruvus normaalne nähtus ja selleks tuleb valmis olla. Ehk puhvri aja jooksul lahendada probleem, et mitte häirida ülejäänud protsessi. Vahe on ka puhvrites, timmitud toot-



mises puhver on ühikuline näitaja, piirangute teoorias seevastu ajaline. Ajalise puhvri eelis ongi aeg ise, mis aitab probleeme lahendada, kui midagi läheb valesti.

Boyd ja Gupta on võrrelnud oma (2004: 360) uurimustöös erinevaid piirangute juhtimise tehnikaid ja leidnud, et timmitud tootmine ja piirangute teooria kontseptsioonid on üsna sarnaste eesmärkidega. Toodangu planeerimise ja tootmisvõimsuse juhtimisel keskenduvad nii timmitud tootmine, kui piirangute teooria toodangu läbilaskevõimele. Kulude vähendamine pole prioriteet omaette, vaid see väheneb koos õigete tegevustega ja tootmisressursside parema/tõhusama ärakasutamisega. Timmitud mõtteviisi ja piirangute teooria sarnasusi on kajastanud Dettmer (2001) järgmiselt:

- mõlemad teoreetilised käsitlused rõhutavad pidevat parendamist;
- eesmärgiks on kasum;
- mõlemad tunnistavad, et klient otsustab, mis on väärtus;
- timmitud mõtteviisi järgi on kogu süsteem väärtusahel, piirangute teooria jaoks on tarneahel, mis kaasab ka kliendi. Mõlemad lähenemised on sisuliselt samad;
- kvaliteet on oluline mõlemale;
- väikesed partiid või parimal juhul ühikupõhine tootmine;
- mõlemad propageerivad katkematut toodangu voogu, mitte partiitootmist;
- mõlemad süsteemid töötavad tõmbele;
- varude tase tootmises madal, sest protsess on piisavalt kiire, et toota vajadusepõhiselt;
- mõlemad püüdleval vabade ressursside leidmisele (ära kasutamisele);
- eesmärgiks on varude vähendamine, eriti pooltoodang ja valmistoodang;
- mõlema meetodika edu võtmeks on töötajate kaasamine, juhtkonnast kuni liini-töölisteni välja.

Loetletud sarnasustest nähtub, et kahe teoreetilise protsessijuhtimise teooria põhieesmärgid kattuvad. Oluline roll on selles kasumit taotleva ettevõtte eeldustel nõ äris püsimiseks, mis on: kliendi väärtuse maksimeerimine, madalad kulud, kiire ja paindlik tootmine, tulemuseks maksimaalne kasum.

Timmitud tootmise ja piirangute teooria toodanguvoo (toodangu ja info) koordineerimiseks on mõlema protsessijuhtimise filosoofial oma tööriist, Kanban kaardi- ja trummipuhver-nöör (*DBR*) süsteem. Üldises tähenduses on mõlema tööriista mõte käskluste, signaali andmine õigel ajal, õiges kohas. Mõlemat süsteemi saab pidada üsna sarnaseks, eesmärk on toodang tõmbamine protsessis, vähendada lõpetamata toodangu hulka, saavutada maksimaalne väljund, samal ajal minimeerides varusid ja lühendades tootmis-tsükli. Suurim erinevus seisneb selles, et Kanban eeldab puhvrite olemasolu kõikide töökeskuste vahel ja varude optimaalne kogus tagatakse iga järgneva töökeskuse nõudluse/tellimusega. *DBR* seevastu paigutab puhvrid ainult piirangute ette ja varude madal tase saavutatakse materjali „vabastamisega“ vastavalt piirangu läbilaskevõimele (Watson, Patti 2008: 1873). Eeldusel, et mitte-piirangud suudavad toota vaatamata tootmise esinevatele hälvetele ja puhvreid ei vaja. Watson ja Patti (2008) uurimuse käigus läbi viidud simulatsioonis vajaski Kanban süsteem rohkem varusid, kui *DBR*. Selgus ka, et Kanban eeldab enam stabiilsemat tootmist, samas *DBR* tuleb paremini toime varieeruvate toodangu mahtudega.

Lisaks selgus Watson ja Patti (2008) analüüsist, et Kanban süsteem ei võimalda maksimaalset väljundit, kui varude tase ehk varud puhvrites vähenevad. Põhjus seisneb selles, et tootmisprotsessi varieeruvuse stabiliseerimiseks on ette nähtud puhvrites olev varu, kui seda varu aga vähendada siis tekivad toodangu voos hälbed. Näiteks töökeskuse rikke tõttu tekkinud seisakut ei kompenseeri puhvri varu. Seega võib timmitud tootmine end esitleda kui nullvarudega süsteemi, kuid reaalsuses on iga töökeskuse eelne puhver ju varu. Stein (1997: 103) väidab samuti, et kanban süsteem vajab enam varusid kui *DBR*. Põhjus seisneb puhvrites iga töökeskuse ees, mis pidevaks töötlemiseks (mitte “nälga jäämiseks”) peavad omama teatavat varu. Lisaks varude rohkusele toob Stein välja ka kanban kaardisüsteemi jäikuse, mis teeb seda süsteemi kasutava ettevõtte vähe paindlikuks. Juurutamine võtab kaua aega ja iga ilmnenu probleem seiskab kogu ahela (nt tootmisliini).

Takahashi et al. (2007) võrdlesid samuti Kanban ja *DBR* voojuhtimise meetodeid, tasakaalustamata tootmissüsteemis, modelleerides nõudluse muutmisega. Tulemus sisulist eelist kummalegi meetodile ei andnud, selleks oli mudel liiga lihtne ja soovitusena toodi

välja, et tegelikud eelised/puudused on võimalik välja selgitada pannes võrdluse rohkem tegelikke varieeruvusi (masinate rikked, erinevad töötlemisajad, jne).

Timmitud tootmise ja piirangute teooria koosrakendamise võimalusi on kajastanud Bergland et al. raamatus „*Velocity*“. Autori hinnangul on antud raamatus propageeritud enam piirangute teooria võimekust ja timmitud tootmise nõrkuseks on välja toodud samuti tehase tasakaalustamise eesmärki. Ehk timmitud tootmine püüab teha tasakaalustada, koormates seeläbi kõiki ressursse maksimaalselt ära. See tekitab olukorra, kus võimaliku hälbe korral puudub võimekus nn hiline mist tagasi teha, sest puudub täiendav (üleliigne) ressurss, kuna see liigituks raiskamiseks.

Olgu siinkohal öeldud, et tehase tasakaalustamine timmitud tootmise või varasemalt ka Toyota tootmissüsteemi kontekstis, ei tähenda autori hinnangul masinressursi 100% list ära kasutamist, vaid olemasolevate ressursside sünkroniseerimist. Shingo (1989: 11-12) tõi välja, et Toyota tehased olid varustatud suurema masinressursiga, kui igapäevaselt vajati ja keskenduti pigem tööliste väljaõppe lihtsustamisele, et vastavalt olukorrale (näiteks sesoonsusest tulenevate tootmismahude muutumisele) oleks võimalik kiiresti rakendada uusi inimesi. Inimtööjõud on võrreldes masinatega oluliselt kallim ressurss, ning selle ressurssiga varustati tootmist vastavalt vajadustele. Masin seevastu on võimalik amortiseerida nulliväärtuseni. Oluliseks peetakse ka multifunktsionaalsust, et töölist saaks erinevate töökeskuste vahel liigutada. Seega on nullvarudele viitamine ülepingsutatud, pigem tuleks tähtsustada läbilaskevõime maksimeerimist, mida mõlemad protsessijuhtimise teooriad oluliseks peavad.

Kuigi mõlemal protsessijuhtimise teorial on palju ühist, on neil ka erinevusi. Olulisemaks on Dettmer (2001) poolt välja toodud parendamise mastaapsus, kus timmitud mõtteviis propageerib üleorganisatsioonilist tegevusplaani, mis reaalses situatsioonis võib osutuda väga töömahukaks ning tulemusi tuleb kaua oodata. Piirangute teooria keskendub seevastu kitsalt piirangule, mis organisatsiooni võimekuse määrab. Ühe kindla probleemiga on lihtsam tegeleda ning parenduste kasu kiiremini saavutatav. Kuigi siinkohal ei saa autor nõustuda, et timmitud mõtteviis oleks vaid mastaapselt üle ettevõtte juurutatav. Järgnevalt on välja toodud (vt. tabel 3) timmitud tootmise ja piirangute teooria erinevused:

**Tabel 3.** Timmitud mõtteviisi ja piirangute teooria erinevused

Timmitud mõtteviis	Piirangute teooria
Kulude vähendamine on parim tee kasumlikkuse saavutamiseks	Kulud kahanevad läbilaskevõime suurendamisel
Lõputu aja, ruumi, kulude ja vigade parendamine/vähendamine ( <i>Perfection</i> )	
Eesmärgiks on raiskamise vähendamine kõikides instantsides	Raiskamise vähendamine piirangutes annab kohese tulemuse
Ressursid on jaotatud spetsiaalsete toodete põhiselt	Ressursid on jaotatud kas toote või väärtusahela põhiselt
Ei tehta vahet piirangul ja mittepiirangul, kõik muudatused on ühtemoodi tähtsad	Ajakadu piirangus tähendab kaotust läbilaskevõimes, ajavõit mittepiirangus ei oma mingit tähtsust
Puhvrid on füüsilised	Puhvrid on ajalised
Rõhk on ühikupõhisel tootevool	Partiide vähendamine minimaalseni (ka kuni ühikupõhiseni) peamine, et ei ohusta piirangut
Puudub „turvavaru“ kas töötab kõik suurepäraselt või ei tööta mitte miski	Miski pole niikuinii kunagi täiuslik, kõike tuleb planeerida

Allikas: (Dettmer 2001).

Tabelis 3 loetletud erinevused on autori hinnangul tõlgendamise küsimused, kuid jääka vastuolu ei ilmne, miks ei saaks timmitud mõtteviisi ja piirangute teooriat omavahel siduda ja koos rakendada. Kahe toodanguvoo juhtimise süsteemi (Kanban kaardi ja trumm-puhver-nööri), koosrakendamine ühes toodangu ahelas pole ilmselt otstarbekas ja võimalik, kui soovitakse maksimeerida saadavat kasu. Süsteem muutuks põhjendamatult keerukaks.

Ühe või teise süsteemi kasuks otsustamisel on vaja põhjalikult uurida ettevõtte tootmisprotsesse. Võimalusel modelleerida mõlema süsteemi rakendamist tegelike situatsioonide põhjal, sest mõlema kontseptsiooni täiemahuline juurutamine ettevõttes oleks tõenäoliselt mõeldamatu, seetõttu on raske leida praktilal baseeruvaid näiteid. Samas ei pea võimatuks kasutada ühes ettevõttes erinevaid tehnikaid koos. Autori hinnangul sobib DBR mitmekülgse ja muutliku tooteportfelliga ettevõttesse, kus nõudlus on samuti muutlik. Samas Kanban kaardisüsteem on tõenäoliselt parim lahendus homogeensete toodete puhul, millal on pikk elutsükkel (üks aasta ja enam), suured kogused ja stabiilne nõudlus. Pikk juurutamine võimaldab selle süsteemi viimse detailini välja töötada, nn peen-häälestada, et viia partiid, puhvrid töökeskuste vahel minimaalseks. Samas kui ettevõtte tooteportfell koosneb nii muutuvast, kui stabiilsest osast siis miks mitte kasutada nii kanban kaarte, kui DBR-i korraga erinevates kohtades. Samas ei ole kanban ja

DBR ainukesed vahendid, mida omavahel võrrelda. Ettevõtte, mis otsustab kasutusele võtta piirangute teooria poolt pakutavad lahendused, võib sama hästi kasutada protsessi korrastamiseks 5S meetodeid, seadmete seadistusaja vähendamiseks SMED-i ja erinevaid raiskamise vahendamise tehnikaid. Seega on kahe protsessijuhtimise filosoofia koosrakendamine võimalik, sõltub vaid millises vahekorras. Lähtuvalt kahe teooria analüüsi tulemustest, koostas autor erinevate tehnikate loetelu, (vt. tabel 4) mille aluseks on võetud Kobayashi 20 võtme viiest võtmest neli. Tehnoloogia arendamine on antud tööst välja jäetud, kuna muudaks töö liiga mahukaks.

**Tabel 4.** Timmitud mõtteviisi ja piirangute teooria rakendamise võimalused

Valdkond	Timmitud tehnikad	Piirangute teooria tehnikad	
<b>Töökohtade täiustamine</b>	Töökohtade korrastamine, Eesmärkide seadmine, Rühmatöö, Töökohta distsipliin ( <i>5S, ettepanekute süsteem, jne</i> )		
<b>Kvaliteedi parendamine</b>	Nulljälgmisega tootmine, Seadmete hooldamine, Kvaliteedi kindlustamine, Tarnija arendamine ( <i>Jidoka – automatiseerimine, PDCA, Poka-Yoke, 5 why, Visual control</i> )	TOC/TQM tehnikad	Probleemi lahendamise tehnikad
<b>Kulude vähendamine</b>	Kadude kõrvaldamine, Töötajate parendamine, Innustamine, Protsesside kaizen, Tõhususe kontroll, Energia ja materjalide säästmine ( <i>SMED, PDCA, 5why</i> )		Mida muuta? Milleks muuta? Kuidas seda ellu viia?
<b>Protsessivoo parendamine</b>	Kiired üleminekud, Pooltoodangu vähendamine, Tootmise planeerimine, Seostatud tootmine ( <i>JIT, Kanban, Takt time, Continuous flow, SMED, Yokoten vigadest õppimine</i> )	Trumm-Puhver-Nöör süsteem (DBR) Puhvrite juhtimine	Goldratti viis sammu piirangute juhtimises

Allikas: (Kalle 2007: 87-89); autori koostatud.

Kuna piirangute teooria tehnikate fookus on laiem siis autori hinnangul sobivad paljud tehnikad kõikide valdkondade parendamiseks. Trumm-puhver-nöör meetodika ja puhvrite juhtimise instrumendid on kitsamalt protsessivoo parendamise tööriistad. Kvaliteedikontrolli parendamise juures välja toodud TOC/TQM tehnikad on tegelikult juba kombineeritud meetodika, kus kasutatakse tervikliku kvaliteedijuhtimise printsiipe. Timmitud tootmise tehnikatest on esindatud kitsam valik konkreetsete valdkondade täiustamiseks, mis aga ei tähenda, et samu tehnikaid teistes valdkondades kasutada ei saa.

## **2. TIMMITUD TOOTMISE JA PIIRANGUTE TEOORIA KOOSRAKENDAMISE VÕIMALUSED AS SAKU METALL ALLHANKE TEHASE TOOTMISPROTSESSIDE PARENDAMISEL**

### **2.1 Uurimismetoodikad ja uurimisobjekti tutvustus**

Käesoleva peatüki eesmärk on anda ülevaade uurimusobjektist, uurimismetoodikatest, kirjeldada uuritava ettevõtte tootmisprotsesse, analüüsida seniste tööprotsesside tulemuslikkust, tuua välja tootmisprotsesside kitsaskohad ning pakkuda välja parendustegevusi, kasutades selleks timmitud tootmise ja piirangute teooria tööriistu.

Alapeatükk kirjeldab uurimisobjekti, milleks on AS-i Saku Metall Allhanke Tehas ja tootmisprotsessid. Uurimismetoodikatest kasutab autor dokumendi- ja üksikjuhtumi analüüsi. Üksikjuhtumanalüüsi (*case study research*) juures on olulise tähtsusega teoreetiline käsitlus, kus seda „kujutatakse“ tegelikes situatsioonides, kus uuringu fookuses on mingi reaalses elus kulgev nähtus (Yin 2009:18). Analüüsis keskendutakse konkreetse juhtumi kontekstile, milleks on AS Saku Metall Allhanke Tehas tootmisprotsesside parendamine timmitud mõtteviisi ja piirangute teooria abil.

Teiseks töös kasutatavaks metoodikaks on vaatlus, protsesside jälgimine kujul millisena nad eest leitakse. Vaatluse plussiks on asjaolu, et katse korraldaja ei püüa kuidagi mõjutada protsesside kulgu. Sobib väga hästi liiasuste avastamiseks tootmisprotsessis.

Kolmandaks metoodikaks on dokumendianalüüs, mis võimaldab uurida seniste tootmisprotsesside tulemusi, toodangu voo juhtimise tõhusust ning toodete tsükliägasid. Selleks kasutab autor ettevõttesisest dokumentatsiooni (kasumiaruanded, töökeskuste operatsiooniajad, toodete protsessikaardid, jne).

Tootmisettevõtte AS Saku Metall loodi 1991. aastal. Esmalt oli põhitegevvalaks metalluste tootmine ja paigaldamine. Tänapäevaks on ettevõttel kahekümne aastane metalluste valmistamise kogemus ja lisaks on pakutud allhanketöid üle kümne aasta ning ettevõtete grupp on tööandja üle 250 töötajale. AS Saku Metalli äritegevus jagunes kahe peamise ärisuuna vahel: uksetootmine ja allhange. Alates 01. juuli 2012 on ettevõtte jagatud neljaks erinevaks juriidiliseks isikuks: 1) AS Saku Metall 2) AS Saku Metall Uksetehas 3) AS Saku Metall Allhanke Tehas 4) OÜ Karjaveres. AS Saku Metall on nn katuseorganisatsioon, ukse- ja allhanketehased on tootmisüksused, OÜ Karjaveres tegeleb kinnisvara haldamisega. Muudatus oli tingitud kahe ärisuuna (ukseäri ja allhange) erinevusest. Ärisuundade peamised sihtturud käitusid erinevalt ja majanduskriisi tingimustes oli ettevõtete tegevus seotud suurte riskidega. Ärisuundade eraldamisega muutus juhtimine enam kontsentreerituks ühele konkreetsele tegevusele, ehk vastutusala muutus kitsamaks ja paremini hallatavaks.

Käesolevas magistritöös käsitleb autor AS Saku Metall Allhanke Tehase tootmisprotsesse ning uurimuse tulemused põhinevad 2013 aasta andmetel. Allhanke ärisuund alustas oma tegevust 11 aastat tagasi ja moodustab tänapäevaks kogu grupi äritegevuse mahust ca 2/3. Töid tehakse kuni 4mm paksusega külmalts-, galvaniseeritud ja roostevabaterasest. Tehase tootmisbaas võimaldab lehtterast lõigata, painutada, stantsida, valtsida, keevitada, viimistleda ning komplekteerida/pakendada. Eesmärk on valmistada kliendi poolt väljatöötatud tooteid valmidusastmeni, mis võimaldab kliendil neid edasi tarnida või oma tootes kasutada ilma täiendava töötlemiseta. Toodete täpsus tagatakse kaasaegsete programmijuhtimispinkidega, tuntud tootjatelt *FINN-POWER* ja *AMADA*. Toodete värvimisel kasutatakse pulbervärvimise tehnoloogiat. Allhanke projektides töödeldakse keskmiselt 250 - 300 tonni lehtmaterjali kuus. (Ettevõtte üldtutvustus 2013)

AS Saku Metall grupi peakontor asub Tallinnas Saku tn. 13, tootmine paikneb Rae vallas, Põrguvälja tee 25, Karjaveres ja Saku 13, Tallinnas. Grupil on ka kaks tütarettevõtet Soomes Saku Metall OY ja Lätis SIA Saku Metals. Ettevõtte tegutseb koostöös partneritega lisaks teistes Läänemere regiooni maades ja Venemaal. Tootmispinnad asuvad Tallinnas Saku tänaval ja alates 2003. aastast ka Harjumaal Rae vallas Karjaveres Põrguvälja teel. Grupi kogupindalaks on plaanitud 77 700m<sup>2</sup>. Saku tänaval asuva krundil 7 500m<sup>2</sup> on katusealust laot ja tootmispinda 4 500m<sup>2</sup>, Põrguvälja teel on kasutuses neli 2

562m<sup>2</sup> suurust tootmishalli. Vajadusele on võimalik laiendada tootmispinda veel Rae vallas nelja samalaadse halli võrra (Ettevõtte üldtutvustus).

Allhanke tehase tootmisbaas asub kogumahus Rae vallas, Põrguvälja tee 25, kus on kasutada 10 248m<sup>2</sup> tootmis- ja kontoripinda. Tootmine on jagatud allüksusteks järgnevalt:

- ostuosakond koos materjalilaoga;
- tootmise ettevalmistusosakond – lehetöötlustpinkide programmide koostamine;
- ettevalmistustsehh – lehtmetsa töötlemine (giljotiin, stantsid, painutuspingid, valts-ja presspingid);
- kooste- ja komplekteerimistsehhid – erinevate tootegruppide koostamine ja komplekteerimine (lukksepad, keevitajad, komplekteerijad);
- värvitsehh – toodete värvimine pulbervärviliinil.

Allhanke tehase toodete nomenklatuur koosneb kuuest peamisest kliendigrupist, millest viis on stabiilsed tellijad ja kuues kliendigrupp koosneb erinevatest väiksematest tellijatest. Kliendigruppide tellimuste mahud on välja toodud tabelis 5.

**Tabel 5.** Kliendigruppide müügi käive (AS Saku Metall Allhanke Tehases, 2013.a)

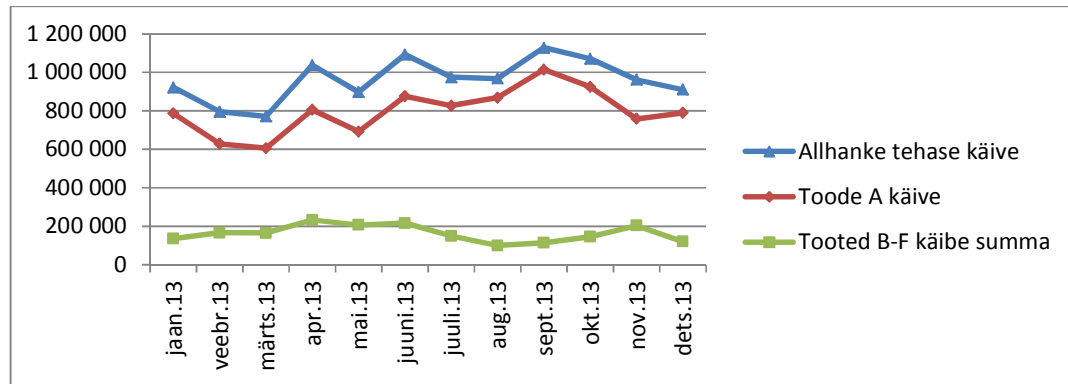
<b>Tooted</b>	<b>Keskmine müügi- käive kuus (EUR)</b>	<b>Osakaal müügi käibes (%)</b>
Toode A (KO)	798 158	83,1%
Toode B (IP)	34 182	3,6%
Toode C (TA)	34 550	3,6%
Toode D (MA)	13 343	1,4%
Toode E (EF)	8 348	0,9%
Toode F (OT)	72 325	7,5%
Kokku	960 906	100%

Allikas: (Lisa 2); autori koostatud.

Ettevõtte tooteportfellist suure osa moodustab üks tootegrupp (vt. tabel 5, toode A), tegu on erinevate liftidetallidega, mida ettevõtte toodab üle kümne aasta. See tootegrupp oli ka üks esimesi tellimusi tööde alustamisest allhanketehases. Riskide maandamise seisukohast on see ettevõtte jaoks oht, sest „munad on ühes korvis“. Tootmisprotsesside juhtimise seisukohast on tegemist plussiga, sest stabiilne ja pikaajaline toode võimaldab välja arendada efektiivse, kulusäästliku tootmisprotsessi. Allhanketehase majandustu-

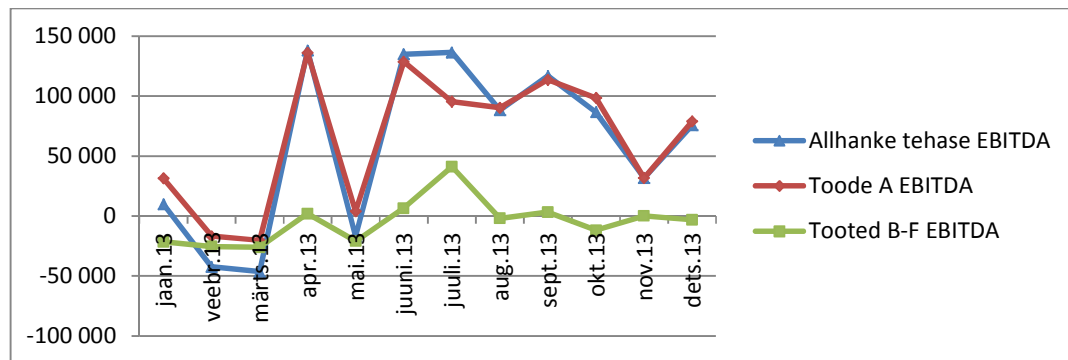


lemusi kajastab joonis 7, kus paremaks loetavuseks on väiksed tootegrupid (B-F) summeeritud.



**Joonis 7.** Müügikäive (AS Saku Metall Allhanke tehas, 2013 aastal), EUR (Lisa 2).

Joonisel 7 on näha 2013. aasta alguses käibe langust, mille tulemusel ettevõtte tulude maht jäi alla kasumiläve ning tulemuseks oli kahjum. EBITDA dünaamika on välja toodud joonisel 8. Ettevõtte EBITDA liigub vastavalt toote A tulemustega ning teised tootegruppide mõju on marginaalne.



**Joonis 8.** EBITDA (AS Saku Metall Allhanke Tehas, 2013 aasta), EUR (Lisa 3).

Joonise 8 andmete põhjal nähtub, et toodete B-F tulemused olid enamuse perioodist miinus poolel, vaid kolmel aruandekuul oli tooteliinid kokkuvõttes kasumlik (vt lisa 3). Seevastu hakkavad lisa 3 andmete põhjal silma kaks toodet (B, C) millede aasta tulemuste aritmeetiline keskmine oli miinus märgiga. Kõigi kolme tootegrupi eripäraks on keerukas koostlus, suur detailide hulk tellimuses, madal kirjeldatuse tase ning toote osad

vajavad töötlemist erinevates töökeskustes. Toodete B-F mitterahuldavad majandustulemused on üheks käesoleva uurimuse koostamise põhjuseks.

AS-il Saku Metall on eelnev kokkupuude protsessijuhtumise filosoofiatega aastast 2004, kui alustati kvaliteedijuhtimissüsteemi juurutamist, mis vastab standard ISO9001 nõuetele. Aastal 2010 täideti ettevõttes ka nõuded, mis vastavad keskkonnajuhtimissüsteemi ISO standardite 14001. Novembris 2012. aastal väljastati ettevõttele ISO-EN-15085-2 keevituse sertifikaat, raudteesõidukite keevitamiseks. See on olnud oluliseks läbimurdeks eksportturgudele, huvi ettevõtte vastu on tundnud suured raudteeveeremi tootjad ja 2013. aastal jaanuaris alustati esimeste toodete tootmist (toode B). Aastal 2012 sügisel kaasas pikaajaline partner (toode A tellija) ettevõtte tarnijate arendusprogrammi (*supplier development program*), mille eesmärgiks on strateegilised partnerid siduda ühise juhtumismõtteviisiga, et koostööd muuta veelgi tõhusamaks. Programm näeb ette timmitud mõtteviisi ja kuue sigma põhimõtete tutvustamist ja nn „omaks võtmist“ strateegiliste partnerite poolt. AS Saku Metall grupi juhtkond otsustas selle programmiga kaasa minna ja 2013. aasta alguseks oli ettevõttes korraldatud rida sissejuhatavaid koolitusi timmitud tootmisse ja alustatud 5S projektiga tootmises. See on viimase aja suurimaid algatusi eesmärgiga parendada protsesse ja muuta kogu ettevõtte konkurentsivõimelisemaks. Magistritöö autori hinnangul on aga timmitud mõtteviisi juurutamine ettevõttes seiskunud, sest puudub visioon ja strateegiline arengukava, mida, kuidas ja millises mahus on ettevõttel otstarbekas ellu viia.

Järgnevates alapunktides analüüsib autor AS Saku Metall Allhanke Tehase tootmisprotsesse läbi nelja valdkonna (viiest), tuletatud Kobayashi 20 võtme süsteemist, mis on välja toodud teooria peatüki lõpus (vt. tabel 4, lk. 37). Lisaks on igas alapunktis välja toodud parendustegevused, mis otsustati ettevõttes ellu viia peale analüüsi teostamist ja kitsaskohtade avastamist.

## **2.2 Tootmisprotsesside analüüs ja parendamine**

Ettevõtte töötlemise spetsiifika põhineb eraldi asetsetavatel töökohtadel, mitte liini põhimõttel. Seadmed asetsevad samuti eraldi ja neid teenindavad operaatorid, lukkseppade, keevitajate, komplekteerijate töölaudad on tsehhidesse paigutatud arvestades põhitoodete töötlemise järjekorda. Töökohtade vahel asetsevad puhvrid materjali / detailikaru-

dele, töökeskuste vaheline transport teostatakse spetsiaalsetel kärudel, laaduri või vastukaaltõstuki abil.

**Töökohtade täiustamise** ei ole ettevõttes kindlate eesmärkidega, süsteemne tegevus. Töökohtade loomine, muutmine, täiustamine on vajadusepõhine, vaatavalt sellele, mida töökohal töödeldakse. Töökohtadega seotud tegevused on tehnoloogiaosakonna kohustuseks, kes koostöös tootmisega viivad läbi vajalikke muudatusi. Iga muudatus arutatakse ettevõttes *layout-i* koosolekul, visualiseeritakse erinevad variandid, mille kaudu selgitatakse välja parim lahendus. Tootmispinna *layout* on kujutatud lisas 9.

Puhtust ja heakorda hoiavad töölised oma töökohal ise, sõltuvalt inimese arusaamadest ning väärtushinnangutest. Üldkasutatavaid pindasid tehases puhastab igapäevaselt koristustettevõte. Puhtuse kontrolli ja töökoha korrashoiu hindamise süsteem ettevõttes puudub. Puhtust nõuavad allüksuse juhid oma alluvatelt igapäevaselt. Vaatlusel ilmnes, et palju on töökeskustes asju, mida tööline ei vaja (töötlemisjäägid, praak detailid, tühjad kärud ja kaubaalused). Üleliigsed objektid tekitavad üleliigseid liigutusi, praak detailid võivad sattuda korralike toodete hulka, samuti on segavad objektid ohuks töölisele endale (komistamine, kukkumine, jne). Töökohtade parendamiseks süsteemselt, kindla järjepidevusega rümatöösid ei propageerita, levinud kommunikatsiooni vorm on koosolek. Ideede ja ettepanekute käsitlemise süsteemi on püütud juurutada, kuid see ebaõnnestus ISO9001 kvaliteedijuhtimise süsteemi juurutamisel.

Töötajate tööajakasutuse mõõtmine toimub elektroonilise registraatori abil, mis on varustatud erinevate režiimidega, tegemaks vahet töö algusel, lõpul, lõunapausile minekul või isiklikel põhjustel lahkumisel. Iga nädalaselt kogutakse kokku tööajaandmed ja saadetakse aruanne juhtidele. Kuu kokkuvõte imporditakse majandusarvestussüsteemi ja see on üks vahend töötasu arvestamisel. Puuduseks on autori arvates asjaolu, et olmeruumid (söökla, suitsuruum, wc-d, garderoob, jne) asuvad nõ tööaja alas. See tähendab, et tööaeg katkestatakse vaid juhul, kui töötaja lahkub hoonest, mitte siis kui ta lahkub oma töökohalt. Piiranguks tööaja alustamise ja lõpetamise juures nähtus, et töölised jõuavad töökohale hommikul kella 8:00 asemel 10–20 minutit hiljem (tööpäev algab kell 8:00). Põhjuseks ettevõtte poolt organiseeritud tööliste bussi graafik, kus hommikune buss saabub tehase juurde ca kell 7:55. Peale seda on vaja tehaseeni kõndida (ca 100m), tööaeg registreerida (tekib järjekord) ja riietuda. Suurimaks piiranguks on garde-

roob, kus kõik töölised ei mahu korraga riietuma, tekib viivitus ja osa töölisi saab tööd alustada alles 8:20. Ettevõttes töötas 31.12.2013. aasta seisuga 85 töolist. Töötajatest 70% kasutab töölkäimiseks bussi transporti.

**Parendustegevused** – Töökohtade täiustamiseks alustati ettevõttes üldise läbipaistvuse parandamisega **5S** projektiga. Projekti eesmärkideks on tootmise töökeskuste ergonoomika parandamine, protsessi läbipaistvuse saavutamine, üldise töökultuuri parandamine ning timmitud mõtteviisi „omaksvõtmine“. Projektiga tehti algust allhanke tehase töökeskustes. Korraga võeti ette maksimaalselt kaks erinevat töökeskust, situatsioone töökeskustes jäädvustati ja tegevusi protokolliti pildimaterjaliga, kuhu lisati vajalikud toimingud ja vastutajad. Selline protokollimise viis tegi töölistele arusaamise lihtsaks ning muudatused visuaalselt paremini kontrollitavaks. Tulemused ilmnesisid juba peale esimest kahte nädalat. Suurim mõju ettevõtte tegevusele oli jagamisprojekti raames kokkulepitud töökeskuste kolimise edasilükkamine. Ettevõtete jagamise käigus pidid kaks erinevat tehast (ukse- ja allhanketehas) reaalselt erinevatesse tsehhidesse paigutatama. Visuaalne korrastamine pani kogu projekti kahtluse alla, ehk kokkulepitud *layout* ei tundunud enam otstarbekas. Seniste teadmiste põhjal koostatud asendiplaanid nägid ette liiga suuri puhvraid ja see oleks tähendanud ettevõttele täiendavat vahendite ümberpaigutamist lähitulevikus. Autori hinnangul võib antud juhtumi kokkuhoiuks lugeda otseste kulude näol ca 10 000 eurot, arvestamata siinkohal häiritud toodangu voogu, mis samuti oleks põhjustanud ettevõtetele lisakulusid ning kahjustanud ka suhteid klientidega. Hinnanguline kulu 5S projekti käigushoidmiseks on allüksuste juhtimise tasandil ca 10 töötundi ja töolistel 15 tundi nädalas, mis teeb otsekuluks ca 1000 eurot kuus (10 eurot/tund). Projekti võib lugeda edukaks, kui töötaja kohta suurendatakse väärtuslikku tööaega 71 minutit kuus (arvestatud 85 töölisega), kus töötaja keskenduda põhitööle, mitte ei tegele tööriistade/detailide otsimisega, segavate objektide ümbertõstmisega, jne. Autori hinnangul on saadav kasu suurem, umbes 2 tundi töötaja kohta kuus. 5S projekt ettevõttes jätkub.

Töödistsipliini ja tööaja kasutuse osas tehti väiksemaid, kiireid parandusi. Näiteks ettevõtte poolt organiseeritud töölisteveo graafiku ümberkorraldus, et ettenähtud tööpäeva algus ja lõpp oleksid tagatud õigel ajal. Hommikuse bussi väljumine nihutati 10 minutit varemaks, et töölised jõuaksid riietuda, sest garderoobi pinda pole võimalik juurde luua,

kuni uue kontorihoone valmimiseni. Muudatus oli lihtsalt teostatav, ilma täiendavate kulutusteta, sest bussi väljumise muutmine varasemaks ei tekita vedajale lisakulusid. Igapäevaselt kasutab transpordi teenust (kahes vahetuses töötades) keskmiselt 30 inimest. Hinnanguliselt võitis ettevõtte läbi tehtud muudatuse igapäevaselt ca viis tundi tööaega juurde, mis teeb ühes kuus ca 150 tundi (arvestatuna keskmiseks hilinemiseks 10 minutit inimese kohta).

Teiseks analüüsitud valdkonnaks on **kvaliteedi parendamine**, mis on ettevõtte prioriteet olnud kogu tegevuse aja, kuid suur samm süsteemse parendamise poole astuti 2004. aastal ISO9001 kvaliteedijuhtimise süsteemi juurutamisega. Ettevõtte kontrollib toodangu kvaliteeti pidevalt kontrollreidide raames ning lauskontrolliga (sõltuvalt tootest näiteks tootele B teostatakse lauskontroll). Kontrolli eest vastutab kvaliteediosakond.

Vaatluse tulemusel selgus, et kõik detailid ja koostud viiakse ühest tootmishallist teise kvaliteedialasse, kus kvaliteedi kontrolörid oma tööd teevad. Kui viga ilmneb siis viib lukksepp või keevitaja tooted uuesti teise tootmishalli keevitustsooni (vahemaa ca 100 m) parandamisele ja siis jälle kvaliteedialasse uuele ülevaatusele. Sellega teostatakse suurel hulgal üleliigseid liigutusi. Samuti ilmnesid probleemid toote B töötlemisel lukksepa- ja keevitustööde käigus. Täpsust nõudvaid tööoperatsioone teostatakse käsitsi ja eksimise võimalus on suur. See tingib ka lauskontrolli vajaduse omakorda kvaliteediosakonnas.

Kvaliteedi parendamise üks timmitud mõtteviisi võtmeks on nulljärgimisega tootmine, mis tähendab, et inimjälgimist nõudvad (raiskavad) protsessid tuleb viia minimaalseks. Autori hinnangul on ettevõtte tootmine väga haavatav ja pidevalt inimjälgimist nõudev. Tootmisoperatsioone ei registreerita reaajas, mis teeb inimjälgimise igas etapis äärmiselt vajalikuks, vastasel juhul kaob igasugune kontroll. Selle põhjuseks on ka toodete nõrk kirjeldamise tase, meistri ülesandeks on anda korraldusi, mida ja kuidas toodet töödelda tuleb. Oluline osa kvaliteedi tagamisel on seadmete korraline ja ennetav hooldus, mida autori hinnangul tehakse ettevõttes korrektselt. Kõikide seadmete kohta on hooldusgraafikud, sõlmitud on hoolduslepingud ja määratud on teostajad. Seadmete juures on hooldusgraafikud toimumise aegade ja vastutajate nimedega. Hooldusi viiakse läbi süsteemselt ja dokumente täidetakse.

Kvaliteedikontrolli käigus avastatud mittevastavused ja klientide poolt edastatud reklamatsioonid registreeritakse majandusarvestussüsteemi vastavas moodulis. Igakuiselt teostatakse mittevastavuste ja reklamatsioonide kontroll valdkonna ja allüksuse juhtide poolt. Iga mittevastavus saab külge tekitaja (töökeskus, tööline), kelle otsesel juhil on kohustus läbi viia analüüs. Analüüsi põhjalikkust, parendustegevusi kontrollib omakorda järgnev juhtimise tasand. Autori hinnangul on kvaliteedisüsteemi võimekus hea, kuid vähe tehakse kiireid parendusi, mittevastavuse registris ilmnes palju ühesuguseid vigu, mis korduvad.

**Parendustegevused** – Kvaliteedi parendamiseks viidi paljud kontrollivad ülesanded (näiteks keevituse visuaalne vaatlus) tavatöölise kohustuseks, mida vastavalt ISO9712 standarditele tohib delegeerida ka töölistele, kes on saanud vastava koolituse. Et nad teeksid vahet valel ja õigel keevisliitel. Koolitused toimusid ettevõtte sisekoolituste raames, koolitajaks kvaliteedikontrolör. Lisaks täideti üks vakantne meistri koht kvaliteedi kontrolli teostanud inimesega, kontroll toimus juba töötlemise ajal ja puudus vajadus täiendava kontrolli järele. Ennem seda tohtis kontrolli teostada vaid kontrolör ning tooted kuhjusid kvaliteedialasse. Tegemist oli tõsise piiranguga just toote B (IP) töötlemisel. Projekti maksumus 20 tundi töötajate koolitust (ühekordne), millele lisandub täiendavalt 2014. aasta sügisel toimuv visuaalse kontrolli koolitus ühele meistrile, maksumusega 2000 eurot. Hinnanguliselt aitas muudatus hoida kokku ühe kvaliteedi kontrolöri (8 tundi päevas), lisaks vähendati korduvate kontrollide arvu, millega tõusis toote B tootlikkus 10%. Kokkuhoid nädalas on ca 80 tundi.

Kvaliteedi parandamiseks töötati välja ka rida rakiseid, mis lihtsustasid toodete koostamist, vältisid vigade tekkimist ning kiirendasid tootmisprotsessi. Peale rakiste katsetamist, võeti need arvele rakiste registris, märgistati vastava registrikoodiga ning värviti kindla tooniga (tootest erinev), et töömaal oskaks abivahenditel vahet teha. Rakistele tehti ka spetsiaalsed stendid töökeskuse seintele, kuhu märgisti rakiste kontuurid, et puuduv rakis stendis oleks tuvastatav kontuuri järgi. Rakiste ühekordne valmistamise kulu 500 eurot. Autori hinnangul aitas parendus toote B puhul tootlikkust suurendada ca 15%. Kokkuhoid nädalas seega ca 60 tundi.

**Kulude vähendamine** timmitud tootmise järgi on igasuguse raiskamise märkamine ja selle kõrvaldamine. Kadude kõrvaldamisega tegeletakse ettevõttes projektipõhiselt, kui

toote majandustulemused pole rahuldavad siis pannakse kokku töögrupp, kes analüüsib ning töötab välja parendavad tegevused. Üleettevõttelist pidevat kadude kõrvaldamise projekti pole algatatud. Samas peaks raiskamise vähendamise propageerimine olema eesmärk, tööliste innustamine ja koolitamine peab olema järjepidev, et tehtaks vahet, milline tegevus on väärtust lisav ja milline seda pole. Väärtust lisavate ja mittelisavate tegevuste eristamist raskendab asjaolu, et tootmise tõhususe mõõtmine (tegelik väljalase, standardväljalase, lisandväärtus, standard töötundide arv, tegelik töötundide arv, jne) on ettevõttes puudulik, sest tõhususe mõõtmist ei toimu. Kulu-tulu aruande põhjal hinnatakse, kas oli hea kuu või mitte. Peamisteks analüüsitavateks näitajateks on tootmise otsekulude määr (materjal, põhitöölise palgakulu), kui see pole rahuldav siis analüüsitakse tooteliini kulusid põhjalikumalt. Toodetel kajastatakse kulusid, mis tekkisid mõne valearvestuse tulemusel, tegelike juurpõhjused jäävad selgusetuks. Selle tulemusel on moonutatud toodete omahinna arvestus ja edaspidi ka müügi protsess. Analüüsimise nõrkuseks on operatsioonide paljusus ja keerukas ülesehitus iga tootepõhiselt, olenemata sellest, et tegelikult teostatakse neid samades töökeskustes. Protsessikaartide operatiivne muutmine on tehtud keeruliseks, sest tootegrupid ei sisalda kõiki võimalikke operatsioone. Piirangute teooria kontekstis on tegemist poliitilise piiranguga, kus protsessikaardi muutmiseks tuleb muuta mitu dokumenti, mida omakorda kinnitab ettevõtte tippjuhtkond.

**Parendustegevused** – Kulude vähendamiseks alustati tootmise tagasiside lihtsustamisega, sellega muudeti senine tootepõhine operatsioonide nimekiri operatsioonipõhiseks. Esiteks aitas see kaasa toodete protsesside kiireks kirjeldamiseks. Teiseks võimaldas vähendada erinevate operatsioonide mahtu viis korda (vana süsteemi järgi oli 250, uue süsteemi järgi 50). Peale lihtsustatud kujule viimist pandi kõik tükitöötasud „lukku“, et allüksusejuhid ei saaks kanda toote peale lubatust rohkem kulusid. Iga toote protsessi lisati „paranduskanne“, kus saab kajastada valesti määratud protsesside vahesid. Nõutud on kindlasti kommentaar, et mis läks valesti ja neid kulusid hakati regulaarselt analüüsima. Ennem uuendusi oli kulukannete süsteemse analüüsi teostamine väga keeruline, sest operatsioone oli palju ja kandeid võis igal operatsioonile teha määramata hulga. Peale parendust saab analüüsida ühe tootmistellimuse lõikes vaid ühte (paranduskanne), ehk rõhk on probleemil. Projekti hinnanguline kulu on 20 tundi nädalas, mis sisaldab paranduskannete täitmist, hilisemat analüüsi ja protsesside parandamist. Kulu nädala

kohta peaks vähenema poole aasta jooksul ca kahele tunnile, eeldusel, et vead parandatakse operatiivselt ja need ei kordu enam. Saadavat kasu rahaliselt on raske hinnata, kuid eesmärgiks on vähendada oluliselt meistrite koormust palgakannete tegemisel. Eesmärk on täidetud, kui tänane maht (60 tundi/nädalas), väheneb poole aasta jooksul 50-75%.

Neljandaks ja peamiseks analüüsitavaks valdkonnaks on **protsessivoo parendamine**, mis sisaldab tootmise planeerimist, kiireid üleminekuid, tootmistsükli lühendamist, varude vähendamist ja sujuva protsessivoo loomist.

Tootmise planeerimine toimub ettevõttes maksimaalse läbilaskevõime baasil. Müügi ja tootmise osakondade arusaamade ühtlustamiseks korraldatakse regulaarselt nõupidamisi. Olenemata sellest, võivad tellimused nädalate lõikes varieeruda suurtes piirides. Projektijuhtide poolt vormistatavad tellimused ei läbi ühtegi filtrit, mis kontrolliks tootmisressursside olemasolu, vajalikust mahus. Seega võib teoreetiliselt müügimeeskond üheaegselt vormistada määramata hulga tellimusi ja lubada valmimise tähtaja ühele ja samale päevale. Ressursside defitsiit tekib sellisel juhul kõige tõenäolisemalt seadmetel, mille läbilaske võime on piiratud vahetuse või ööpäeva pikkusega. Ületundide või lisatööjõu kasutamine on võimalik, kuid piiratud seadme tööajaga ööpäevas. Erinevate töökeskuste ressursi ei mõõdetata sõltuvalt tellimuste „portfellist“ reaajajas. Tellimuste erisuse tõttu, koormatakse töökeskusi varieeruvalt, mis tähendab, et ülekoormuse tingimustes hakkavad „pudelikaelad rändama“. Olukorra teevad keeruliseks kirjeldamata tooted, millede töömaht ja ressursside võimekus ei ole koos jälgitavad. Ressursiplaneerimine toimub Microsoft Exceli tabelitesse registreeritud tellimuste põhjal, majandusarvestussüsteemis vastav moodul veel ei tööta, sest kirjeldamata toodete puhul puuduvad sisendid.

Analüüsi tulemusel selgus, et üheks oluliseks viivituste põhjustajaks on ka marsruudi-kaardi puudulikkus. Tootmise spetsifikatsioon määrab ära küll tööoperatsioonid, kuid ei anna suuniseid töökeskuste kohta, kus töötlemine toimub. Ehk töötlemise järjekord ja töökeskuse asukoht tuleb kogemustega. Probleem on tõsine just tootegruppides B–F, sest tellimuste ja toodete hulk võib olla väga erinev. Tooted muutuvad, vormistatakse ühekordseid tellimusi, toodete üksikasjalik kirjeldamine majandusarvestus süsteemis on pigem soovituslik, kui range kohustus. Nii satuvad tootmisse tellimused, kus pole ühtegi



märget selle kohta, kus ja millal peavad tööoperatsioonid aset leidma. Spetsifikatsioonide näited on välja toodud lisas 4, kus esimene on osaliselt kirjeldatud toote ja teine kirjeldamata toote spetsifikatsiooni näidis. Kirjeldatud toote puhul on küll olemas töökeskuse grupi tähis, kuid asukoha viide puudub. Teise näite puhul puudub üldse töötlemise järjekord, vajalikud operatsioonid on kogemustega kinnistunud ja seda teavet omavad kitsas hulk töölisi. Väikene muutus tööliste koosseisus (näiteks asendamine puhkuste või haiguste ajal), võivad tekitada tõsise segaduse, sest uus inimene ei tea kõiki nüansse. Mida keerulisem on töömaal toodete eristamine, seda parema kompetentsiga peavad olema töötajad, samas suur teadmiste pagas ei võimalda töölisi vahetada osakondade vahel, see omakorda loob ebasoodsa pinnase kiireteks üleminekuteks.

Timmitud mõtteviis rõhutab multifunktsionaalsete tööliste tähtsust, et oleks võimalik lihtsalt tööjõudu ümber jagada, kui tootmise varieeruvus seda nõuab. See eeldab tööoperatsioonide lihtsustamist, standardiseerimist moel, mis võimaldab kiiresti töötajaid ümber paigutada või uusi inimesi juurde värvata ning töövõtted kahe-kolme päevaga selgeks õpetada. Uurimisobjekti tootmistööliste väljaõpe ja ülesanded on valdavalt seotud kindla töökeskusega, samuti nende väljaõpe piirdub võrdlemisi kitsa valdkonnaga. Töötajate ümberpaigutamine töökeskustes on võimalik rohkem lukkseppade ja abitööliste osas. Töölised jaotuvad oma erialalt järgnevalt:

- **Pingioperaatorid** – omakorda jagunevad stants-, painutus-, sae-, giljotiin-, punktkeevitus seadmete operaatoriteks. Erinevate seadmete tööjõudu saab ümber jagada vaid abistava tööjõuna, mis tähendab, et näiteks giljotiini operaator saab abistada painutuspingi operaatorit aga iseseisvalt teiste pinkidega töötamiseks on teadmised puudulikud.
- **Keevitajad** – saab osaliselt ümber paigutada. Toote A keevitajad ei oma vastavat sertifikaati, töötlemaks näiteks toote B tooteid. Toote B keevitajad on suutelised osaliselt keevitama teisi tooteid.
- **Lukksepad** – võimalik kasutada erinevate tootegruppide töötlemisel, peale lühiajalist väljaõpet (ca 2-3 päeva).
- **Komplekteerijad** – toodete D komplekteerijad üldiselt asendatavad ei ole, tööülesanded väga spetsiifilised ja väljaõpe pikaajaline.
- **Abitöölised** – rakendatavad erinevates töökeskustes.

- **Värviliini abid ja maalrid** – maalri töö nõuab pikaajalist kogemust, maalriabide asendamine võimalik 2-3 päevase väljaõppe perioodiga. Värviliini töölisi saab oskuste poolest kasutada teistes töökeskustes abitöölisena.
- **Eestöölised** – tegemist on oma ala spetsialistidega mingis kitsas valdkonnas. Näiteks stants- ja painutuspingi eestöölised vastutavad pinkide hoolduse, tööriistade, seadistamiste ja üldise töösissekorra eest oma allüksuses. Töötajaid ei saa ümber jagada teiste töökeskuste vahel, neid asendab vaid meister.

Tööliste loetelust selgub, et lihtsamate abitööde puhul saab enamikke töölisi rakendada, kuid ettevõttes seda tihti ei praktiseerita. Põhjuseks personalipoliitika, kus tööliste vastutusvaldkond on kehtestatud töötaja ametikirjeldusega. Ametikohaga sidumine on tööliste kinnistanud kindla töökeskusega ja teise töökeskusesse ümbersuunamine on vastulus harjumustega ehk see tekitab pahameelt. Tulemuseks on ebaühtlaselt jagatud jõud, ühes töökeskuses lähevad töölised vähesekoormuse tõttu koju, samas teises töökeskuses tehakse regulaarselt ületunde.

Lisaks multifunktsionaalsetele töölistele on kiiretel üleminekutel oluline roll seadmete ümber seadistamisel. Mida pikem on seadistusaeg, seda otstarbekam tundub töödelda suurtes partiides. Uurimuse autor viis läbi eraldi analüüsi seadmete (stantside) efektiivsuse ja seadistusaegade kohta, et aru saada, miks ettevalmistustsehh eelistab partiitootmist. Analüüsimisel selgus, et seadmete efektiivsus ettevõttes ei ole pideva jälgimise all ning süsteemseid parendusi ei tehta. Teadvustatakse pikka seadistusaega, kuid vähendamine pole eesmärk omaette. Seadmete tööd mõõdetakse valikuliselt, pikemaajalised eesmärgid puuduvad. Andmeid töötatud aja kohta kogutakse lehetöötlusstantside kohta, mida AS Saku Metall Allhanke Tehasel on kolm. Töötlemissaja fikseerimine tähendab puhta tööaja (aeg mil seade opereerib) fikseerimist vahetuses, sama aruanne sisaldab ka remondile, hooldustele kulunud aega ning seisuaegasid, näiteks elektrikatkestused. Analüüsi käigus arvutas autor pinkide tööaja ja vahetuse pikkuse suhte. Suhtarvud on 2013. aasta kohta ja välja toodud tabelis 6.

**Tabel 6.** Stantside efektiivsus (AS Saku Metall Allhanke Tehase, 2013.a.), %

Periood	Stants 1	Stants 2	Stants 3
Jaanuar	47,28%	42,62%	73,40%
Veebruar	49,60%	43,72%	76,28%
Märts	53,35%	57,46%	83,71%
Aprill	51,82%	54,33%	65,92%
Mai	61,62%	56,53%	76,73%
Juuni	50,43%	41,76%	70,85%
Juuli	55,75%	54,76%	74,95%
August	55,38%	51,06%	77,76%
September	49,82%	61,27%	77,57%
Oktoober	54,32%	67,52%	75,80%
November	51,64%	59,84%	77,17%
Detsember	50,18%	65,80%	76,66%
<b>Aritmeetiline keskmine</b>	<b>52,82%</b>	<b>53,72%</b>	<b>75,47%</b>

Allikas: ( autori koostatud).

Tabel 6 andmete põhjal nähtub, et stants 1 ja 2 töötavad potentsiaalsest tööajast oluliselt vähem, kui stants 3. Seda selgitab asjaolu, et stantsid 1 on poolautomaatne, kus töötlemine toimub küll arvutijuhtimisel, kuid materjali etteandmine ja mahalaadimine tuleb teha operaatoril käsitsi. Peale maha laadimist peab operaator detailid töödeldud lehest lahti murdma. See toimub samal ajal, kui pink töötleb järgmist lehte (paralleelsed tegevused), kuid sõltuvalt töö iseloomust võib operaatori poolt tehtav tööoperatsioon olla pikem, kui seadme töösükkel, seega seade ootab. Stants 2 on automatiseeritud, kui stants 1, kus peale laadimine toimub vaakumtõsteseadmega aga enamus töid tuleb operaatoril käsitsi maha laadida ja lehest välja murda. Stants 3 omab nii peale, kui mahalaadimise seadet ning seal on efektiivsus oluliselt kõrgem, sest puuduvad inimese poolt nn pidurdavad tegevused.

Lisaks efektiivsele tööajale, arvutas autor välja abiaja (seadistusaja) pikkuse minutites ühe tellimuse kohta. Selleks loendati kõik analüüsiperioodil töödeldud tellimused ning jagati tegelik seisaeg tellimuste arvuga. Tulemuseks aeg, mis kulus keskmiselt tootmistellimuste vahetamiseks seadmes, ehk abiaeg, mis sisaldab: seadistamine, materjali-aluse-tööriistade vahetamine, torked, jne. Aeg, kui seade seisab ning väärtust ei loo. Abiajad on välja toodud tabelis 7.

**Tabel 7.** Stantside abiajad (AS Saku Metall Allhanke Tehase, 2013.a.), minutit

Periood	Stants 1	Stants 2	Stants 3
Jaanuar	98,52	70,72	46,85
Veebruar	103,81	80,74	43,60
Märts	83,69	41,82	46,26
Aprill	91,69	62,73	64,85
Mai	72,13	65,43	57,01
Juuni	118,30	95,38	69,73
Juuli	106,71	71,06	68,23
August	96,31	64,98	37,78
September	117,16	61,71	33,17
Oktoober	99,69	40,62	34,74
November	96,84	52,12	36,99
Detsember	78,64	48,43	34,76
<b>Aritmeetiline keskmine</b>	<b>96,96</b>	<b>62,98</b>	<b>47,83</b>

Allikas: (autori koostatud).

Abiaegade pikkus ühe tellimuse teenindamiseks sõltub otseselt seadme tehnilisest omadusest. Nagu ülal kirjeldatud on seade 2 enam automatiseeritud, kui seade 1. Seetõttu on abiaeg ühe tellimuse kohta 34 minutit lühem, kui seadmel 1. Kõige efektiivsem on seade 3, põhjus seisneb automaatses peale ja mahalaadimises. Selle seadme abiaja saab võtta aluseks ning järeldada, et stantsidel ühe tellimuse vahetamiseks kulud keskmiselt 47,83 minutit (vt. tabel 7). Selle aja sisse kuulub seadmesse programmide laadimine, tööriistade vahetamine trumlis, töödeldud detailide maha- ning uue materjali laadimine. Kokkuvõttes oli kolme stantsi kogutunnid aastas (potentsiaalne tööaeg) 13 620 tundi. Sellest realselt töötasid pingid 8 193 tundi ja seisis erinevatel põhjustel kokku 5 182 tundi. Ühe seadme efektiivne tööaeg oli aastas ca 2 700 tundi, teoreetiliselt 50% abiaja (seadistusaja) vähendamine võimaldaks pingiresurssi kasvatada ca 2 500 tunni ulatuses. See on ühe seadme tänane efektiivne tööaeg.

Stantside seadistusaja pikkusest lähtuvalt eelistatakse ettevalmistustehhis partiitootmist, sest pidev ümberseadistamine on aja raiskamine ja operaatori saab palka tükitööhinnete alusel, seadistamine pole tasustatav tükitööhinnete alusel. Probleem pole mitte ainult ettevalmistustehhis, ka programmide ettevalmistamisel inseneride poolt, eelistatakse võimalikult suurt partiid, sest see võtab programmeerijalt vähem aega. Iga osakond lähtub enda huvidest, puudub ülevaade, et mida tähendab väike ajavõit programmeerimises ja kui palju see mõjutab tootmistsükli tervikuna.

Tootmiseprotsessi tulemuslikkuse määrab ära kiirus millega sisendid muudetakse väljundiks, ehk tootmise tsükli aeg. Mida lühem on tootmistsükkel, seda lühem on rahatsükkel, seda väiksem on raha maht, mida ettevõtte peab investeerima varudesse. See eeldab aga jällegi tingimust „müügi kaudu“ ehk tooted tuleb ka koheselt realiseerida. Tarbija väärtuse seisukohast on lühem tootmistsükkel täidetud enam väärtuslike tegevustega (vähem raiskamist).

**Tootmistsükkel** on toote tootmisprotsessi läbimise aeg, mida AS Saku Metall Allhanke tehases mõõdetakse päevades. Igale tootele omistatakse unikaalne number (tootmistellimuse number), mis omab erinevaid seisundeid majandustarkvaras. Tootmistsükkel saab alguse tootmistellimuse numbri seisundi muutmisega „alustatud“ staatusesse ja lõpeb tootmistellimuse numbri sulgemisega (seisund „lõpetatud“). Tootmistellimuse number on ka toote kulukonto, kus kajastatakse kõik tootega seotud otsekulud (materjalikulu, põhitöölise palgakulu). Hilisem püsikulude jagamine tootmistellimustele toimub kokkulepitud jagamisreeglite abil aga üldlevinum on ühe kuu jooksul lõpetatud tootmistellimuste proportsionaalne osalus, ehk toote hinna suhete järgi müügikäibes. Seega kasutatakse ettevõttes valdavalt tootepõhist kuluarvestust, tootmine ise on tellimuspõhine. Töös esitatud tegelik tootmistsükkel on toodete tootmistellimuste seisundite „alustatud“ ja „lõpetatud“ päevade vahede aritmeetiline keskmine. Aeg, mis tegelikult on kulunud toodete töösse andmisest, kuni toote valmimiseni.

Ettevõtte siseselt töödeldavate osade voog läbib töökeskusi, kus teostatakse vajalikud tööoperatsioonid, mis võivad sõltuvalt tootest olla väga erinevad. Tööoperatsioonide kooslus ja järjekord võib olla samuti periooditi väga varieeruv. Sõltub see tellimuste esitamisest klientide poolt, sest kindlat kohustust mahtude ja tellimuste sageduste osas klientidele „ette kirjutatud“ pole. Lisaks tuleb arvestada koostööpartnerite tarneaegadega, sest suur osa töödest tellitakse allhanketöödena väljast. See muudab tootmise planeerimise ja juhtimise keeruliseks ning tootmisprotsessi ebaefektiivseks.

Ettevõtte toodangu voog on üles ehitatud partiipõhiselt, sest juhtide hinnangul on see kõige otstarbekam, tööoperatsioonide sooritamise ning materjali optimeerimise seisukohast. Näiteks toode A (lifti komponente) toodetakse partiidena, üldjuhul on partii suurus 20 ühikut, mis tähendab, et tootmisse laekuvad põrandad, laed ja valgustid 20 kaupa. Programmeerimine kasutab materjali jääkide optimeerimisel ja enda töö lihtsustamiseks

(kiirendamiseks) automaatset detaili paigutust (*auto nesting*), mis tähendab, et ühe lifti detailid on kogu partiiis segamini ja järgmine töökeskus saab töö vastu võtta alles kogu partii tööoperatsiooni lõpetamisel. Põrandate partii peab olema stantsimises 100% valmis, et painutus saaks tööd alustada. Keevitus omakorda saab töö üle võtta peale painutust, sest painutuspingi seadistamiseaja kokkuhoiu saavutamiseks, teostatakse ühte liiki detailide painutus terve partii lõikes. Toode A ühte osa ehk lifti põrandate partii (20tk) tootmisprotsessi etappe kajastab joonis 9.

Protsess /asukoht	Sümbol	Kaugus (m)	Aeg (min)	Sümbol	Aeg (min)
Materjaliladu	△				
Laost stantsini	⇒	50	10		
Laost Saeni	⇒	50	10		
Stantsimine	○		473	⊗	473
Painutamine	○		381	⊗	381
Saagimine	○		84	⊗	84
Saest keevituseni	⇒	150			
Painutusest keevituseni	⇒	10			
Keevitamine	○		648	⊗	648
Keevitusest värvi	⇒	120			
Värvimine	○		210	⊗	210
Värvimisest koostamisse	⇒	50			
Koostamine	○		360	⊗	360
Pooltoodangu ladu	△			◈	

**Joonis 9.** Lifti põranda partii tootmisprotsess (Toodete dokumentatsioon 2014: autori koostatud).

kus    Ladu    △  
          Töötlemine    ○  
          Transport    ⇒  
          Partii viivitus    ⊗  
          Protsessi viivitus    ◈

Joonisel 9 on näha, et partiitootmisega võrdub töötlemisaeg ka partii seisuajaga. Kahjuks ei ole ettevõtte töökeskuste tagasiside nii heal tasemel, et võimaldaks täpselt mõõta iga toote töötlemisaega ja töökeskuste vahelist transpordi ning ooteaega. Reaalselt on

protsessi viivitused veel kõikide tööoperatsioonide vahel, sest järgmine töökeskus ei ole alati valmis töötlemist alustama, kui detailid kohale transporditakse. Suur osa ooteajast langeb ka töövälisele ajale, ehk tööpäeva lõpuks valminud või pooleldi töödeldud partii jääb seisma, kuni järgmine vahetus algab. See ajakulu võib olla 6–15 tundi, sõltuvalt **töökeskuse vahetuses tööajast**<sup>3</sup>. Tootegruppide tsükliäeg algusest lõpuni saab välja selgitada tootmistellimuste alguse ja lõpukuupäeva järgi. Aastal 2013 olid tootegruppide tsükliaja aritmeetilised keskmised vastavalt (AS Saku Metall majandusarvestussüsteem):

- Toode A (KO) 23,43 päeva (standardhälve 11,20 päeva),
- Toode B (IP) 21,95 päeva (standardhälve 19,48 päeva),
- Toode C (TA) 43,71 päeva (standardhälve 18,32 päeva),
- Toode D (MA) 85,82 päeva (standardhälve 61,82 päeva),
- Toode E (EF) 10,3 päeva (standardhälve 4,67 päeva),
- Toode F (OT) 8,45 päeva (standardhälve 8,78 päeva).

Kui võrrelda tegeliku tsükliaja ja töötlemisaja suhet siis saab välja selgitada väärtust lisava ning seda mitte lisava aja. Tabel 8 kajastab tootegruppide töötlemisaegasid, allikana on kasutatud ettevõtte operatsiooniaegade mõõdistamistulemusi. Tabelis ei sisaldu tootegrupp F, sest tootegrupp koosneb erinevatest väikestest tellimustest, millel puuduvad fikseeritud operatsiooniajad.

---

<sup>3</sup> AS Saku Metall Allhanke tehas töötab kolmes erinevas vahetuses: 1) Äripäevadel E-R 8:00 – 17:00 2) Kõikidel nädalapäevadel hommikune vahetuse 8:00–17:00 ja õhtune 17:00-02:00 ning 3) Kõikidel nädalapäevadel 8:00-20:00. Graafikud on erinevad allüksuste lõikes.

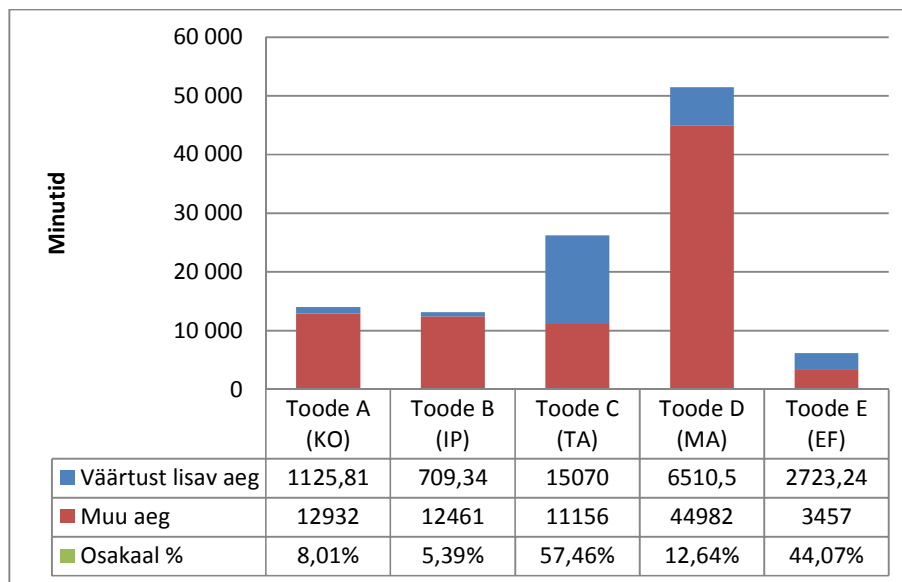
**Tabel 8.** Tootegruppide töötlemisajad (AS Saku Metall Allhanke Tehas), minutit

<b>Töökeskus</b>	<b>Toode A (KO)</b>	<b>Toode B (IP)</b>	<b>Toode C (TA)</b>	<b>Toode D (MA)</b>	<b>Toode E (EF)</b>
Giljotiin	4,55				
Saag	31,42	3,92			
Stants 1	32,55	7,24	920,00	157,50	
Stants 2	28,92	30,34		400,00	499,07
Stants 3	10,00		1200,00		879,48
Painutus	50,38	59,04	6240,00	350,00	436,25
Valtsimine		2,33			
Pressimine					174,50
Keevitus	200,05	281,92	480,00	1210,00	
Punktkeevitus	87,53	28,13	240,00	100,00	
Lukkseppatöö	287,45	266,42	5920,00	1030,00	104,70
Komplekteerimine	157,66			3218,00	174,50
Värvimine	33,30	15,00	30,00	30,00	15,00
Vaheladustamine	12,00				
Pakendamine	190,00	15,00	40,00	15,00	439,74
	<b>1125,81</b>	<b>709,34</b>	<b>15070,00</b>	<b>6510,50</b>	<b>2723,24</b>

Allikas: (Toodete dokumentatsioon 2014); autori koostatud.

Tabelis 8 on töökeskused lihtsustatud ühiste nimetajatega, tegelik töökeskuste nimistu on välja toodud lisas 1. Tegelik tsükliaja ja operatsiooniaegade summa omavahelise suhte illustreerimiseks on koostatud joonis 10, kus tegelik keskmine tootmistsükkel on vähendatud 14 tunni võrra iga päeva kohta, see tähendab, et tööväline aeg ei sisaldu koguaajas. Kui läheneda kliendi väärtuse põhimõttest siis pole tsükliaja lühendamine päris õige, sest kliendi huvi on toote kiire tarne ja iga seisu-aeg mõjutab toote lõpphinda (ka õine mittetöötamine).





**Joonis 10.** Tootegruppide töötlemisaja ja tegeliku tsükliaja võrdlus (autori koostatud).

Joonisel 10 järgi on kõige problemaatilisemad tootegrupid A ja B, kus väärtust lisav aeg on keskmisse tsükliajaga võrreldes kõige väiksem. Kuigi Toote A standardhälve (11,20) on kõikidest tootegruppidest väikseim, mis viitab stabiilsemale tsükliajale. Tegelike töötlemisaegade ja kogutsükli võrdluses tuleks vahet teha väärtust mittelisel, kuid tootmiseks vajalikel toimingutel. Näiteks: transport, seadistamine, kvaliteedi kontroll, tugiprotsessid, jne, mida saab küll vähendada, kuid ei ole võimalik täielikult kõrvaldada. Üldiselt aga on timmitud mõtteviisist lähtuvalt tegemist igal juhul raiskamisega ja mille vähendamine peaks olema ettevõtte eesmärk. Ka visuaalne hinnang tootmisruumides annab tunnistust, et raiskamise enamlevinud liigiks on ootamine. Ootamist põhjustab autori hinnangul peamiselt partiitootmine, puudulik töökeskuste tagasiside ja varustamise hälbed. Kindlasti võimendab seda asjaolu, et planeerimise ja ressursside arvestuse detailne tööriist ettevõttes puudub. Planeeritakse praktikas väljakujunenud maksimaalsete mahtude järgi, see on ühtlasi ka nõrgim koht tootmisprotsesside juhtimises. Ettevõtte tooteportfelli analüüsid valis magistr töö autor juhtumanalüüsiks välja kõige probleemsema tootegrupi D (MA). Selle valiku põhjuseid on järgmised:

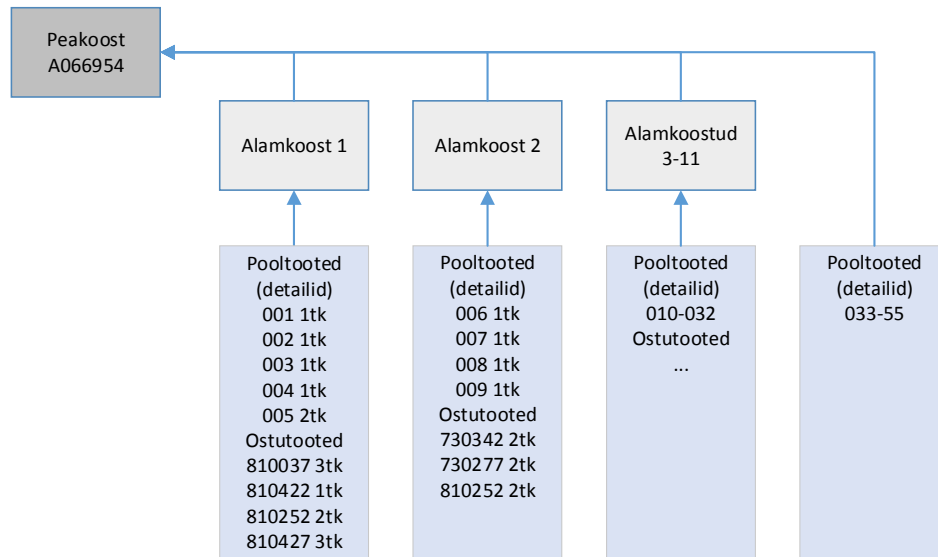
- Tootegrupi keskmine tootmistsükkel on kõige pikem teistest tootegruppidest, vastavalt 85,82 päeva, standardhälve 61,82 päeva;

- Tootega ei teeni ettevõtte kasumit, erinevate liiasuste tõttu on tegevus ebaefektiivne (vt lisa 3);
- Tootegrupp kuulub ettevõtte strateegilise arengukava järgi nõ riskide maandamise vahendite hulka, et vähendada ühe tootegrupi A domineerimist.

Toode D tootmistsükli pikkus ja standardhälve olid kardinaalselt teistest toodetest erinev. Nii pikk tsükli aeg viitab väga tõsistele probleemidele protsesside juhtimises. Tootegrupi kahjum kaheksal kuul 2013. aastal oli tootmisprotsesside juhtimisevigade tagajärg. Ettevõtte majandusarvestussüsteemi aruanne „tähtajaks lõpetatud tootmistellimused“ annab tootegrupil D tulemuseks nulli, ehk ükski tellimus ei saa tähtajaks valmis. Lisaks sai valikus määravaks asjaolu, et toode D kuulub toodete gruppi B–F, mis on ettevõtte strateegilise arengukava järgi projektide kogum, mis peavad tulevikus vähendada sõltuvust tootegrupist A. Probleemne on ka toode B, kuid valim ei olnud piisav, tegemaks põhjanevat analüüsi. Tootegrupp B koosnes aastal 2013 valdavalt kahest projektist, millest ühte toodeti esimesel poolaastal ja teist arendati teisel poolaastal, seeriatootmist alustati 2014. aasta alguses.

**Toode D (MA) juhtumanalüüs** - toode D (MA) väärtust lisav aeg kogutsükklis on 12,64%, mis võrreldes toodetega A ja B on oluliselt suurem, kuid kogu tsükli aeg keskmiselt 85 päeva (see on ¼ kogu kalendriaastast). Standardhälve viitab väga ebastabiilsele tsükli ajale, mis varieerub suurtes piirides. Toote tsükli aja detailsemaks analüüsimeks on uurimuses valitud üks tellimus (tootmistellimuse nr A066954), mille süsteemi seisundite „alustatud ja lõpetatud“ vahe oli 69 päeva. (vastavalt: alustatud 23.07.2013 ja lõpetatud 30.09.2013). Tellimuse planeerimise kuupäev oli 06.08.2013. Alustamine tähendas esmast kulukannet (alustati reaalselt tootmistegevust), kuna planeeritud staatuses tellimusel ei saa kulusid kajastada. Toode D komponentidest valmistab AS Saku Metall Allhanke Tehas lehtterasest osad, treitud ja laser lõigatud komponente ostetakse allhanketööna, ülejäänud komponendid valmistab ette tellija ning saadab vastavalt ostutellimusele. Toode D tellimused edastatakse kliendilt tavaliselt 30. või 40. ühikulistes partiides, partii kohta vormistatakse üks tellimus tootmisele. Kui tootmistellimus sisaldab partiid 30 ühikut siis üks ühik koosneb omakorda detailidest ja alamkoostudest. Juhtumanalüüsiks valitud tellimuse A066954 partii suurus oli 30 tk. Vormistatud oli see ühe üldise tootmistellimusena, kus kõik detailid tähistati ühe numbriga olgugi, et peale

stantsimist liikus tellimus erinevatesse töökeskustesse töötlemisele. Toote koosnevuse kohta koostas autor näitliku tootepuu (vt. joonis 11)



**Joonis 11.** Tootmistellimuse A066954 tootepuu (autori koostatud).

Kõige alumine detailitasand (pooltooted) stantsitakse, vajadusel ka painutatakse. Peale seda algab alamkoosluste koostamine, valdavalt toimub see keevitamise teel partiikau-  
pa. Alamkoost 1 tarbeks võetakse 30 komplekti pooltooted 001–005, lisatakse sellele ostutooted ning ühendatakse need. Järgneva alamkoost 2 tarbeks 006–009 pooltooted, jne. Kõik ülejäänud tooted ootavad, sest keevitamiseks on ette nähtud üks töökoht, pa-  
ralleelseid tegevusi saab teha vaid pooltoodetega, mis keevitamist ei vaja, näiteks lukk-  
sepatööd (lihvimine, kraatide eemaldamine, jne). Toote ja tootmisprotsessi ülevaatlil-  
kuse huvides peaks kõik tasandid eraldi kirjeldama, iga tasand peaks saama eraldi toot-  
mistellimuse numbrid, kooslused, protsessiläbimise ajad. Näidistellimuse töötlemisajad  
on kajastatud tabelis 9, kus erinevatele tööoperatsioonidel on kuupäeva vahemik, millal  
töötlemine toimus.

**Tabel 9.** Tootmisprotsessi operatsiooniajad (Toode D, tellimuse A066954), minutit

Tööoperatsioon	Töötlemise kuupäev	Tegelik töö-aeg	Mõõdistatud tööaeg	Ülekulu
Planeeritud	06.08.2013	-	-	-
TT alustatud	23.07.2013	-	-	-
Stantsimine	03.08.2013-05.08.2013	1123	842	662
Painutamine	06.08.2013-22.08.2013	813	600	489
Keevitamine	19.08.2013-23.08.2013	3960	1650	3657
Lukksepatööd	14.08.2013-23.08.2013	6676	1500	7446
Punktkeevitamine	19.08.2013-29.08.2013	1558	240	1848
Värvimine	23.08.2013-26.08.2013	2010	2222	472
Komplekteerimine ja pakkimine	26.08.2013-04.09.2013	5623	270	7264
Tootmistellimus lõpetatud	30.09.2013	-	-	-
	<b>Kokku:</b>	<b>21 763</b>	<b>7 324</b>	<b>14 439</b>

Allikas: (Lõpetatud toodangu aruanne 2014 ); autori koostatud.

Tegeliku tööaja ja mõõdistatud aja erinevus on veerus ülekulu, ehk see aeg mis kulus ettenähtust rohkem. Tellimuse andmetest ei tulnud välja, millistel põhjustel töötlemise tegelik aeg erines nii suurtes piirides mõõdistatud ajast, ülekulu oli kokku 14 439 minutit. Aruanne sisaldab tööliste palkasid erinevate päevade lõikes aga toote puuduliku detailsusastme põhjal ei saa täpsemaks enam minna. Seitsme raiskamise järgi oli tõenäoliselt tegemist:

- ebavajalike liigutustega – pikalt seisev kaup on kogu aeg kellelegi takistuseks ja seda tõstetakse ühest kohast teise. See omakorda tekitab juurde transporti, transportimisel võib tooteid vigastada, mis tekitab defekte, jne.;
- defektid – võivad tekkida ümbertõstmistega, samuti valesti töötlemisel. Mittevastavuste ohje protseduuri järgi peaksid olema need tegevused registreeritud eraldi, antud tellimuse juures ei pruugi see nii olla ja defektide kõrvaldamise töötasud on samuti kajastatud tellimuse kontol;
- ületöötlemisega – töödeldakse sealt, kust pole vajadust (varjatud osa), värvitakse mittenähtavaid külgi, millel puudub väärtus, ehk tehti rohkem, kui oli tahetud.

Rawabdeh (2005: 805) raiskamise mõjude järgi tekitab iga liiasus omakorda teist tüüpi liiasust, mis võimendab veelgi väärtust mittelisava osa suurust. Oluline on tähele panna, et tabelis 9 on kaks pikaajalist protsessiiviivitust, üks enim- ja teine peale töötlemist, need on tootmistellimuse alustamisest, kuni reaalse töötlemiseni ning peale töötlemist tootmistellimuse lõpetamiseni. Tegemist on informatsiooni liikumise häälbega ja seda just töötlemise järgselt. Peale viimase tööoperatsiooni teostamist peab info jõudma andmesisestajani, kes lõpetab tootmistellimuse. Antud tellimuse puhul võttis see aega 26 päeva. Siinkohal tasub rõhutada piirangute teooria jääktulu või läbilaskevõime mõistet, millega ettevõtte genereerib raha müügi kaudu. Antud juhul seisis tellimus 26 päeva ootel, tellimus oli olemas, kaup oli olemas aga ettevõtte raha ei teeninud, kuna arvet ei saanud esitada. Sisekorra järgi lõpetamata tootmistellimusele saatelehte ja arvet ei ole võimalik vormistada. Teiseks tähelepanekuks piirangute teooriat lähtuvalt on, et keevituse töökeskus on antud tootegrupi tootmisel pudelikaelaks/piiranguks, ehk kõige nõrgemaks lüliks. Valdavalt on töökeskus mehitatud ainult ühe keevitajaga. Keevitaja on oskustööline, kelle asendamine on ettevõttes raskendatud, sest koostamise info asub valdavalt töötaja peas.

Palgakannetest nähtus, et tootepartiid on töödeldud korduvalt, erinevatel päevadel, mis viitab ebaühtlasele tootevoole, ehk toimus tööde hakkimine, mis aga pikendab tööde kestvust. Kui arvestada tööpäeva pikkuseks keskmiselt 10 tundi siis tellimuse täitmise tegeliku tsükliajaks on 41 400 minutit. Kui mitte võtta arvesse ettenähtud töötlemisaega, mis oli 7 324 minutit siis kokkuvõttes oli protsessiiviivituseks 34 076 minutit ehk 568 tundi. Suhtarvudena väljendades on väärtus lisav aeg, ehk tegelik tööaeg 12%, ooteaeg (väärtust mittelisav aeg) 65%. Töötlemise ülekulu ehk üleliigsed (mitte ettenähtud) tegevused moodustasid kogu ajast 23%. Antud suhtarvudes on tsükliaja ja töötlemisaja suhe viidud reaalsele vahetuse pikkusele, ehk arvesse on võetud tegelik tööaeg, millal tehas töötab. Tellimuse A066954 ajateljel vaatlemiseks on koostatud Ganti graafik (joonis 12), mis annab ettekujutuse, kuidas erinevad operatsioonid toimusid ja palju ooteaega nende vahele jäi.

ID	Operatsiooni nimetus	Start	Finish	Kestvus	aug 2013						sept 2013			
					21.7	28.7	4.8	11.8	18.8	25.8	1.9	8.9	15.9	22.9
1	Planeerimine	23.07.2013	23.07.2013	0d										
2	Stantsimine 1	3.08.2013	3.08.2013	,8d										
3	Stantsimine 2	5.08.2013	5.08.2013	1d										
4	Painutamine 1	6.08.2013	7.08.2013	1,33d										
5	Painutamine 2	22.08.2013	22.08.2013	,5d										
6	Keevitamine	19.08.2013	23.08.2013	5d										
7	Punktkeevitamine 1	19.08.2013	19.08.2013	1d										
8	Punktkeevitamine 2	28.08.2013	29.08.2013	2d										
9	Lukksepatööd	14.08.2013	23.08.2013	10d										
10	Värvimine 1	23.08.2013	23.08.2013	1d										
11	Värvimine 2	26.08.2013	26.08.2013	1d										
12	Kompl., pakkimine 1	26.08.2013	26.08.2013	1d										
13	Kompl., pakkimine 2	23.07.2013	23.07.2013	,5d										
14	Kompl., pakkimine 3	28.08.2013	28.08.2013	,5d										
15	Kompl., pakkimine 4	29.08.2013	29.08.2013	,5d										
16	Kompl., pakkimine 5	30.08.2013	2.09.2013	4d										
17	Kompl., pakkimine 6	3.09.2013	3.09.2013	,8d										
18	Kompl., pakkimine 7	4.09.2013	4.09.2013	,4d										
19	Tellimuse lõpetamine	30.09.2013	30.09.2013	0d										

**Joonis 12.** Tootmistellimuse A066954 tootmise Ganti graafik (autori koostatud).

Pika tsükliaja põhjuste väljaselgitamiseks küsitles uurimuse autor järgmisi töötajaid: komplekteerija Vjatseslav Starosta, keevitaja Andrus Tatter, müügijuht Andri Kivirüüt. Tootmistööliste sõnul on sellel tootel tihti midagi puudu, ehk komponendid, mida ettevõtte ise ei valmista, saabuvad hilinemisega. Nagu nähtub ka tabelis 9, peale tootmistellimuse alustamist toimub esimene töötlemine 20 päeva hiljem. Selle põhjuseks on detailide tarne hilinemine ehk tellija poolt saadetavad osad pole jõudnud kohale. Vaatamata sellele, et suur osa komponentidest pole saabunud, pannakse toode „töösse“, stantsitakse, painutatakse ja siis jäävad detailid seisma, sest edasi töödelda enam ei saa. Poolikult töödeldud toode on aga täiendav varu ehk raha on materjali all kinni. Lisaks ladustamise kulud, sest pooltoodangule on vaja ruumi tootmispinnal. Müügijuhi väitel ei pea tellija komponentidega varustamisel kokkulepitud tähtaegadest kinni. Tellimuse valmistamist alustatakse põhjusega, et kardetakse hilineda, „teeme omalt poolt võimalikult palju ära, kui komponendid tulevad siis saame viimase lõpu kiiresti valmis“. Tootmist alustatakse tihti ka põhjusel, et töölistele rakendust leida, kuna hiljem võivad olla inimesed juba liigselt koormatud. Autori hinnangul lisandub oluline risk ettevõttele just planeerimise osas, kui toode D hilineb ja planeerimine ei suuda tootmisressursse ümber jaotada siis

komponentide saabumisel ei pruugi olla tootmisel enam selles perioodis võimekust. Varieeruvustega toimetulemiseks on vaja rakendada ületunnitööd, värvata juurde lisatööjõudu, mis on samuti liiasus (raiskamine).

Protsesside läbipaistvuse osas kinnitas vaatlus, et puudulik toodete kirjeldamine tekitab probleeme kohe peale ettevalmistustsehhi, kus detailid lehtmaterjalist välja stantsitakse ja painutatakse. Toote D puhul on ühes tootes kasutusel valdavalt kahte tüüpi materjali, paksustega 1,0mm ja 2,0mm. Mõlema materjali puhul programmeeritakse stantsile terviklik komplekt toodetest, tooted stantsitakse, järgnevalt painutatakse ja ladustatakse sinna, kus ruumi on. Detailid on seejuures erinevate aluste peal, kuid toote spetsifikatsioon on üks, sest tellimusi on ainult üks. Spetsifikatsioon pannakse operaatori poolt ühe aluse peale detailide juurde, kuid ülejäänud detailidel puudub igasugune info, millega tegu. Selleks, et eristada tooteid omavahel, peab suurepäraselt tundma toodet ja olema samal ajal kursis ka töötlemisel olevate tellimustega. Autori hinnangul on probleemne koht toodete siselogistikas. Juhiste puudumisel (kus toimub järgmine töötlemine), ei osata toodangut õigesse kohta viia, ladustamine on kaootiline ja see tekitab segadust.

Juhtumanalüüsi kokkuvõtteks saab öelda, et tavapärane arusaam tootmise juhtimisest on kallutatud partiitootmise suunas. Erinevatel juhtimise tasanditel, samuti ka tööoperatsioone teostavate töölistel kujundab arusaama konkreetse toimingupõhine käsitus, ehk „kui ma teen ühte toodet mitu tükki järjest siis ma jõuan rohkem“. Selle tõttu arvatakse, et kokkuhoid tekib ka kogu protsessis tervikuna. Tihti tuuakse partiitootmise eeliseks kokkuhoidu seadistusajas. Shingo (1983: 18) väitel sõltub seadistusaja võit selle pikkuses, ehk pikk seadistusaeg tekitab vajaduse toota suuri partiisid. Viies seadistusaja minimaalseks, kaob ära ka näilik võit partiitootmisel. Kahe erineva pikkusega seadistusaja võrdlus on välja toodud tabelis 10.

**Tabel 10.** Seadistusaja ja partii suuruse koosmõju ühiku operatsiooniajale

Seadistusae	Partii suurus	Operatsiooni aeg ühikule	Operatsiooniaeg ühiku kohta (koos seadistusajaga)
1 tund	100	1 minut	$1 \text{ min} + 60/100 = 1,60 \text{ min}$
1 tund	1000	1 minut	$1 \text{ min} + 60/1000 = 1,06 \text{ min}$
5 minutit	100	1 minut	$1 \text{ min} + 5/100 = 1,05 \text{ min}$
5 minutit	1000	1 minut	$1 \text{ min} + 5/1000 = 1,005 \text{ min}$

Allikas: (Shingo 1983:16-18).

Ühe tunnise seadistusaja optimeerimiseks ühe töödeldava ühiku kohta on mõttekas töödelda korraga võimalikult suur partii. Teisel juhul, kui seadistus on viidud viie minuti peale, on partii viivitused oluliselt väiksemad. Ehk tegeleda tuleb seadistusaja vähendamise, mitte partiide suurendamisega.

Timmitud mõtteviis propageerib toodangu voo muutmist ideaalis ühikupõhiseks, antud lähenemine ei võimalda töökeskusi seada üksteisest eraldi, vaid eeldab tootmisliini ülesehitust, et viia transportimisega seotud kaod miinimumini. Tootmisliinil järgneksid erinevad operatsioonid vastavalt operatsioonide järjekorrale. Täna asuvad töökeskused tsehides üksteisest eraldi. Põhjus seisneb teistes mahukamates tootegruppides, millest lähtuvalt on tootmise *layout* planeeritud. Autori hinnangul pole tootegrupi D puhul tootmisliini ülesehitust otstarbekas, sest tootmismahud on väiksed ja tellimuste sagedus ebaregulaarne, samuti puuduvad pikaajalised prognoosid kliendilt. Pigem tuleks süstematiseerida tänane tooteportfell, kirjeldada üksikasjalikult kõikide toodete hierarhia, luua kooslused, alustada majandusarvestussüsteemis ressursside planeerimist, luua vahepuhvrid, korrastada toodete liikumine tsehhis, vähendada raiskamist, jne.

**Protsessivoo parendamise** juures üheks oluliseks faktoriks on sujuva protsessivoo loomine. Toodete liikumist, puhvrite koormatuse taset vaadeldes selgus, et tootmispinna esinevad piirangud, mis tekitavad toodangu voo hälbeid. Üheks selliseks piiranguks on erinev töögraafik tsehides. Näiteks ettevalmistustsehh töötab kahes vahetuses, seitse päeva nädalas, samas kooste- ja komplekteerimistsehh (mis järgneb ettevalmistusele) töötab viis päeva nädalas. Esmaspäeva hommikul on kahe tsehhi vaheline puhver üle koormatud, tooted ootavad edasist töötlemist. Toodete transportimise käre on otsas, detaile pole kuskile ladustada, teostatakse üleliigseid liigutusi kärude otsimiseks ja poolikult koormatud kärude vabastamiseks. Viie päevases graafikus töötab ka ladu, mis



teenindab ettevalmistustsehhi. Selleks, et varustada ettevalmistustsehh vajaliku lehtmaterjaliga, tuleb reede õhtuks kõik vajalik materjal laost välja transportida ja ladustada seadmete kõrvale riulitesse, kust pingioperaator materjali pinki laeb. Siingi on tegemist üleliigsete liigutustega ning tootmispinna raiskamisega, sest materjali kahekordseks ladustamiseks on vaja täiendavat riulipinda.

Kiired üleminekud seadistamisel, tööliste asendamisel võimaldavad ettevõttel kiiremini ja sujuvamalt toota. Lühem tootmistsükkel tähendab väiksemat lõpetamata toodangu mahtu. Piirangute teooria rõhutab otsuste tegemisel keskendumist kasule, mida muudatus endaga kaasa toob. Mõtlemise protsessid peaksid eelnema igale otsusele, et näha kas muudatusest tõuseb tulu, kas saadav tulu on suurem, kui parendusele tehtav kulutus. Uurimuse fookus on olnud peamiselt toodete läbivusaegadel ja liiasustel, mis tootmistsükli pikendavad. Igasugune tegevus, mis väärtust ei suurenda, vaid pigem vähendab (mille eest klient pole nõus maksma), on timmitud mõtteviisi järgi raiskamine ning tuleks proteesist kõrvaldada. Selleks, et parendustegevuste fookus oleks mõtestatud ja tingiks suuremat väärtust, viis autor läbi arvutused tootmistsükli lühendamise mõjust. Arutuste eemärgiks on avaldada seos lõpetamata toodangu ja tootmistsükli vahel, ehk millist majaudulikku kasu toob tootmistsükli lühendamine lõpetamata toodangu rahalises mahus. Teoreetiliselt lühem tootmistsükkel, võrdub väiksema lõpetamata toodangu mahuga, vabanenud raha saaks investeerida teistesse projektidesse, tootearendusse vms. Lõpetamata toodangu suuruse saab välja arvutada valemiga 3 (Laidroo 2009):

$$(3) \quad P = \frac{Q * T * K}{t}$$

kus P - lõpetamata toodang

Q - toodangu maksumus plaanilises tootmisomahinnas (ilma amortisatsioonita)

T - tootmistsükli keskmine kestus päevades

K – kulude kasvu kordaja (keskmine), Kui kulud kasvavad ühtlaselt, siis K varieerub 0,6...0,7 ulatuses

t – perioodi päevade arv

Lõpetamata toodangu maht otsearvutusmeetodil (vt. valem 3) annab teoreetilise lahendi, mis kindlasti ei kehti kõikide ettevõtete kohta üheselt. Toodangu maksumus tootmis-

omahinnas (Q), päevade arv perioodis (t) ja tootmistsükli pikkus (T) on tõesed ja kontrollitavad suurused siis kulude kasvu kordaja (K) tuleb välja arvutada eraldi, võttes arvesse ettevõtte tegelikku lõpetamata toodangu mahtu. AS Saku Metall Allhanke Tehase lõpetamata toodangu 2013. aasta bilansi andmeil oli 151 221 eurot, kaalutud keskmine tootmistsükkel 23,79 päeva (vt lisa 6) Seega valemis 5 kasutatud K väärtuse saab leida Lisa 6 andmete põhjal järgmiselt:

$$151221 = (8314317 * 23,79 * K) / t$$

$$K = 151221 / (8314317 * 23,07 / 360); K = 0,28$$

kus	Toodangu maksumus tootmisomahinnas (Q)	8 314 317 eurot
	Tegelik tootmistsükkel (T)	23,79 päeva
	Päevade arv perioodis (t)	360 päeva
	Kulude kasvu kordaja (K)	0,28

Lühema tootmistsükli korral, näiteks ühe päeva võrra, peaks ettevõtte lõpetamata toodangu osas käibevaradesse paigutama 6 329 eurot vähem:

$$P = \frac{8314317 * 22,79 * 0,28}{360} = 144892\text{€}$$

$$\text{Vahe on } 151221 - 144892 = 6329\text{€}$$

Tootmistsükli lühenemine iseenesest ei tähenda veel, et raha kiiremini vabaneb. Kui toodetud kaupa ei suudeta kiiremini müüa samas tempos, nagu pikema tootmistsükli puhul, siis reaalne varude tase hakkab kasvama. Seega säästu varudes ei pruugi sel juhul tekkida. Kogu tehtav pingutus eeldab ka müügiiosakonna koostööd, et raha konversioonitsükkel lüheneks. AS Saku Metall Allhanke tehase valmistoodang 2013. aasta bilansi järgi oli 27,8 tuhat eurot, mis autori arvates on rahuldav tulemus. Vähene valmistoodangu maht tuleneb sellest, et iga toode ettevõttes on kaetud reaalse tellimusega, midagi varuks lattu ei toodeta ja kliendi huvi on tellimus kiiresti kätte saada. Tootmistsükli lühenemine erinevates tootegruppides annab erineva panuse lõpetamata toodangus (vt. lisa 6). Mida väiksem on toote suhe kogutoodangusse, seda väiksemat mõju see omab.

**Parendustegevused** – protsessivoo parendamisel lähtuti maksimaalsest kasust ja valiti esmalt kõige mahukam tootegrupp A ja viidi läbi partiide vähendamine, eesmärgiga

muuta toodangu voog kiiremaks ning selle tulemusel lühendada tootmistsüklaiega. Ajendiks oli ka suurim mõju lõpetamata toodangule ja teiseks üldine tarnekindluse langus 2013. aasta keskpaigas. Analüüsimisel hakkas silma, et ühe komponendi (lifti põrandad) stantsimise ja painutamise operatsiooniajad on pikemad teistest komponentidest. See pärssis toodete komplektide valmimist ja saatmist kliendile. Tarnekindluse kahanes nii hilinemiste, kui ka ületootmise pärast, sest partiid sisaldasid hilisema tarnekuupäevaga tooteid, mis saadeti varem kliendi terminaali, et teha ruumi enda valmis- toodangu laos. Paraku klassifitseeris klient enne õiget tarneaaega saadetud tooted tarne- kindluse hälbeks, selle tulemusel kannatasid ettevõtete vahelised suhted ja osa tellimusi suunati ümber kliendi teistele strateegilistele partneritele ehk AS Saku Metall Allhanke Tehase konkurentidele. Toode A stantsimise, painutamise ja koostamise operatsiooniaja on välja toodud tabelis 11, mis kajastab ainult kolme operatsiooni, sest need olid ajali- selt kõige mahukamad.

**Tabel 11.** Toode A partii operatsiooniajad (AS Saku Metall Allhanke Tehas)

Toode A	Partii (tk)	Stantsimine (min)	Painutamine (min)	Koostamine (min)
Põrand	20	473	381	3240
Katus	20	200	309	2281
Valgusti	20	246	253	2100
Künnis	20	165	45	992
Peale põranda partii muudatust				
Põrand	10	237	191	1620

Allikas: (Toodete dokumentatsioon 2014); autori koostatud.

Partii suurusega 20 ühikut oli põrandate operatsiooniajad teistest komponentidest pike- mad ja seetõttu suudeti teised komponendid kiiremini valmis toota. Poolikult toodetud komplekte ei saanud pakendada, sest põrandad asetsesid oma raskuse tõttu teiste koostude all. See tekitas tsehhis pooltoodete rohkuse, vaja oli üha suuremat puhvipin- da. Põrandate partii vähendamine kümne ühiku peale võimaldas partiid liigutada kiire- mini ühest töokeskusest teise. Lisaks partii vähendamisele muudeti toodete tootmisse andmise loogikat, kõik toote A komplekte hakkas dikteerima lõppkoostamise puhver (*assembly buffer*). Tootekomplektid pandi projektijuhi poolt „garantiini“ ja väljastati sealt vastavalt kliendi poolt kinnitatud tähtaegadele, millest koostatakse saatmisplaan. Väljastamise kuupäevast arvutati maha töötlemise ajad, lisati puhvriaeg ja väljastati

tootmisele tähtsuse järjekorras. See välistas varasemad tarned, vähendas pooltoodangu mahtusid ja aitas kokku hoida tootmise pinda. Parendustegevuste mõju oli kohene ettevalmistustehhi stants- ja painutuspingil, kus ühe põranda partii töötlemise aeg langes ning muutis töö paindlikumaks. Tsükliajade võrdlus on välja toodud tabelis 12.

**Tabel 12.** Toote A tsükliajad (AS Saku Metall Allhanke Tehas), päeva

Tootegrupid	Periood 2013 aasta			Periood 01.01.2014 - 31.03.2014		
	Tsükliaja aritmeetiline keskmine	Standard hälve	Mediaan	Tsükliaja aritmeetiline keskmine	Muutus %	Standard hälve
Toode A (KO)	23,43	11,20	23,00	16,75	-28,51%	5,78

Allikas: (Toodete dokumentatsioon 2014); autori koostatud.

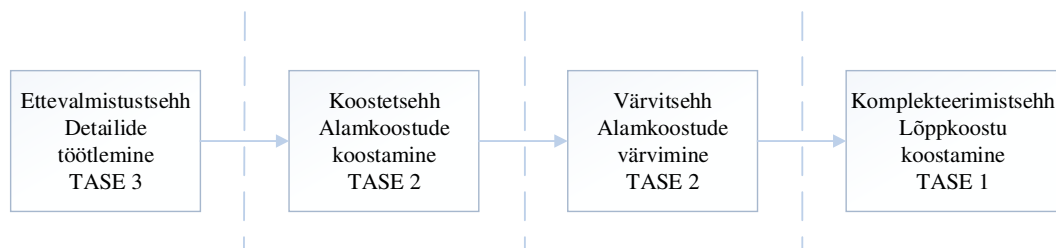
Toote A tootmistsükkel 2014. aasta esimeses kvartalis langes kokkuvõttes 28,5%. Autori hinnangul oli väiksemal partiiil kindlasti positiivne mõju, kuid tootmistsükli lühendamise juures mängis rolli ka tootmismahdade vähenemine aasta alguses. Lühem tootmistsükkel 6,68 päeva on reaalsus, ühtlasi on tegemist signaaliga, et toodet A saab toota kiiremini, kui seda tehti 2013. aastal. Partii vähendamise projekti kuluna saab välja tuua programmeerija lisatööd, mis tekib detailide „sobitamises“ materjali lehtedele. Hinnanguline kulu ca 4 tundi nädalas. Lisa 6 andmetel on toote A lõpetamata toodangu maht 5 157 eurot ühe tootmistsükli päeva kohta. Kui ettevõtte suutis toota 6,68 päeva kiiremini siis otsearvutatuna peaks lõpetamata toodangu alt vabanema 34 449 eurot.

Lisaks põrandate partii vähendamisele analüüsiti tootmise ettevalmistusosakonnas ka kõikide teiste komponentide partiide vähendamist (katused, valgustid). Selgus, et partii suurus < 6 ühikut tõstab märgatavalt jäägi osakaalu (vt. lisa 10). Esialgu vähendati katuste ja valgustite partiisid stantsides 20–lt ühikult 10–le (hiljem on plaanis vähendada painutuses partiid omakorda viiele ühikule). Peale partiiviivituse vähendamise on eesmärgiks ka ülevaatlikkuse parandamine, sest väiksem partii on paremini jälgitav. Katuste ja valgustite partiide vähendamise mõju analüüsi käigus ei mõõdetud, sest muudatuse tulemid veel ei avaldunud.

Teiseks tegevuseks **protsessivoo parendamisel** on toote kirjeldamine, mille pilootprojektina kirjeldati ära analüüsitud toode D tellimuse A066954 analoog. Esiteks oli tegevuse valiku põhjuseks mitterahuldavad majandustulemused tootegrupis D, teiseks haa-

kub teema antud uurimuse analüüsiga ja kolmandaks on tegevus ettevõttele pikemas perspektiivis vältimatu. Tsükliaja lühendamine lõpetamata toodangu rahalises vääringus ei anna küll suurt võitu (vt lisa 6), kuid kirjeldamata toodete puhul pole edaspidiselt võimalik ehitada üles korralikku ressursside planeerimise tööriista. Ilma toodete kirjeldamiseta pole võimalik välja töötada mõõdikuid, ilma mõõdikuteta ei saa juhtida.

Eesmärk kirjeldada kõik komponendid detailselt ettevõtte majandusarvestussüsteemis. Lähtuti loogikast, et vastutuspiirid tsehhide vahel ja detailide, alamkoostude, tsükkel oleksid kooskõlas. Näiteks, kui toode on kirjeldatud kolme tasandiliselt, kus: 1) pea-koost 2) alamkoostud 3) detailid, siis esmalt tuleb valmis toota on detailid, seda teeb ettevalmistustsehh. Igale detailile on loodud tootmistellimuse number, mis on ühtlasi ka kulukonto. Näiteks detaili otsekulud (materjal, põhitöölise palgakulu) kajastatakse tootmistellimuse numbritel, mis alustatakse esimese operatsiooniga ning lõpetatakse ettevalmistustsehhi läbimisel, viimase operatsiooni teostamisel. Kui protsess on valesti kirjeldatud, saab parenduste ettepaneku fikseerida kohe „paranduskande“ operatsioonile. Valminud detailid ladustatakse vahelaos (detaililaos), laosaldo kajastub ettevalmistustsehhi laos. Lihtsustaud toodete liikumine on kujutatud joonisel 13. Punktiirjooned tsehhide vahel tähistavad allüksuseid ehk vastutuse piire.



**Joonis 13.** Toote eritasandite töötlemine allüksustes ja vastutuste jaotumine (autori koostatud).

Tasemel 3 on analüüsis välja toodud nädistellimuse (A066954) puhul detailid PT001–PT055 (vt. lisa 5), tase 2 on alamkoostud ja tasemeks 1 on lõppkomplekt, mille soovib klient korraga kätte saada.

Järgmine etapp toote kirjeldamises oli protsessikaardi loomine, ehk operatsioonaegade määramine (mõõdistamine) töökeskustes. Peale seda võimaldas süsteem luua igale toote osale eraldi toote spetsifikatsiooni, koos vajaliku töötlemisinfoga. Sellega oli loodud

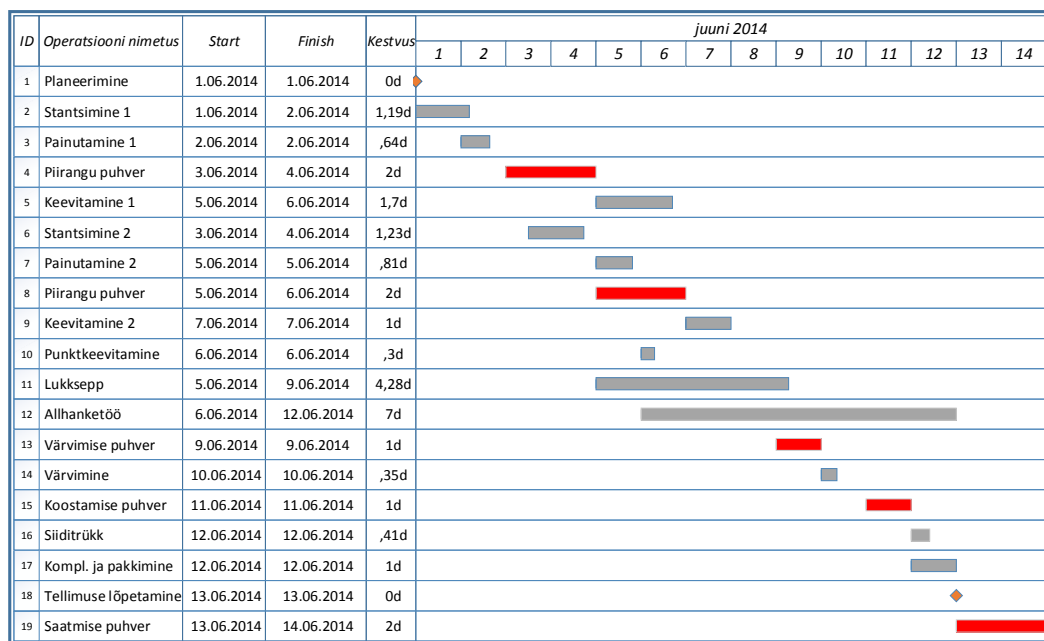
eeltingimus tootmise voo juhtimiseks, tellimuse lõikes sai alustada toodangu voo ülesehitamisega. Detailse kirjeldamise tulemiks olid operatsiooniajad, mis on ära toodud tabelis 13. Tegemist on 30 ühikulise tellimuse koondaegadega.

**Tabel 13.** Toote D operatsiooniajad (AS Saku Metall Allhanke Tehas)

<b>Tööoperatsioon</b>	<b>Tegelik tööaeg (min)</b>	<b>Algus (päev)</b>	<b>Lõpp (päev)</b>
Tellimuse alustatud	0		
Saagimine	45	152/08:00	152/08:45
Stantsimine 1	675	152/12:28	153/11:43
Painutamine 1	423	153/12:44	153/20:00
Piirangu eelne puhver	1320	154/08:00	155/20:00
Keevitamine 1	1120	156/08:00	156/16:03
Stantsimine 2	810	153/17:30	154/20:00
Painutamine 2	536	155/08:39	155/20:00
Piirangu eelne puhver	1320	156/08:00	156/16:03
Keevitamine 2	980	156/16:04	158/09:24
Punktkeevitamine	200	157/08:00	157/11:21
Lukksepatööd	2828	156/08:00	160/11:36
Koostu MA3238 tsinkimine	-		
Värvieelne puhver	660	160/08:00	160/20:00
Värvimine	230	161/08:00	161/11:50
Koostamise eelne puhver	660	162/08:00	162/20:00
Siiditrükk	270	163/08:00	163/12:30
Koostamine	660	163/08:00	163/20:00
Tellimus lõpetatud	0	-	-
Saatmise puhver	1320	164/08:00	165/20:00
<b>Kokku</b>	<b>14 057 min</b>	<b>14 kalendripäeva</b>	

Allikas: (autori koostatud).

Ajaline kulu kokku ühe tellimuse valmistamiseks on 14 057 minutit. Tegemist on puhta tööajaga, millest osa tegevusi on paralleelsed. Tellimus alustatakse teoreetiliselt 152. kalendripäeval ja välja saadetakse 165. Päeval, mis teeks tsükliajaks 14 kalendripäeva. Tellimus on jagatud kaheks etapiks, sest detailide kogumid koosnevad kahest erinevast materjaltüübist, vastavalt 1,0mm ja 2,0mm. Stantsimist teostatakse kahel erineval seadmel, võimalik on ka paralleelne stantsimine aga puudub vajadus, sest painutuse ressurss ei võimalda kahte detaili kogumit korraga töödelda. Lukksepatööde maht on ajaliselt kõige pikem, oluline on kindlustada lukksepa eelisjärjekorras tööd, mis ei läbi keevitust, sellisel juhul saavad lukksepp ja keevitaja paralleelselt töötada. Töötlemise järjekord ja kestvus on kujutatud joonisel 14.



**Joonis 14.** Toote D tootmise Gantt graafik peale parendamist (autori koostatud).

Toote valmistamise Gantt graafikust on näha (vt. joonis 14), et kõige pikem tegevus on allhanketöö majast väljas, kus toimub ühe koostu MA3238 kuumtsinkimine. Tegevus ei ole ettevõtte enda majasisene ja selleks on arvestatud üks nädal. Süsteemi soovitus peab olema antud koostu detailide stantsimine ja painutamine esimeses etapis, peale seda peab keevituse ja lukksepatöö algama just selle koostu töötlemisest, et oleks võimalik toode majast välja saata varakult. Toote üksikasjaliku kirjeldamise kasu seisneb ka selles, mida teha esmajärjekorras, et protsess oleks sujuv. Tootmistellimuste käsitlemine eeldab üksikasjalikku operatsioonikaarti, mis tagab vajaliku teabe kõikidesse töökeskustesse, millises järjekorras tuleb tellimust töödelda.

Timmitud mõtteviisi järgi on uues tootmistsükkel endiselt suur osa raiskavaid toiminguid, näiteks puhvriajad, partiipõhine tootmine, kus partiiviivitus on võrdne partii tootmise ajaga. Vastavalt timmitud mõtteviisile määrab takti kõige pikem operatsioon. Vaadates erinevaid ühiku operatsiooniaegasid on kõige tööajamahukam toiming koostu MA1175 keevitamine 15 min / tk, seega iga 15min peaks valmima üks toode, 30 ühikulisel partii tootmiseks kuluks teoreetiliselt 450 minutit. Autori hinnangul oleks antud hetkel ebamõistlik püüelda sellise läbilaskevõimega, kuna toote D tellimuste maht 2013. aastal oli 47 komplekti. Piirangute teooriat lähtuv toodangu voo ülesehitus annaks oluli-

se võidu, võrreldes näidistellimuse tsükliajaga 69 päeva on uus tsükkel 55 päeva lühem. Oluline on silmas pidada reaalse töötlemise aja osa, mis näidistellimusel algas 03.08.2013 ja lõppes 26.08.2013 (23 päeva). Selle ajaga võrreldes on võit 9 päeva. Piloottprojektina kirjeldatud toode D komplekti tootmise tegelikku tsükliaga ei õnnestunud uurimuses mõõta. Samuti on keeruline mõõta saadud kasu raha või ajatühikus. Kasuks tuleb saadud kogemus, mis aitab edaspidised toodete kirjeldamised tõhusamalt ellu viia. Projekti kulu on hinnanguliselt 40 tundi.

Lisaks partiide vähendamisele algatati **protsessivoo sujuvamaks muutmiseks** 2014. aasta alguses projekt üleettevõtteliseks graafikumuudatuseks, millega viidi kogu tootmise töölised üle 11 tunnisele tööajale, seitse päeva nädalas (2+2 graafik). Vana ja uue töögraafiku näited on välja toodud tabelis 14.

**Tabel 14.** Töögraafiku muudatus (AS Saku Metall Allhanke Tehas)

Vana viie päevane töögraafik							
Tööline	E	T	K	N	R	L	P
Keevitaja 1	8:00-17:00	8:00-17:00	8:00-17:00	8:00-17:00	8:00-17:00	Vaba	Vaba
Keevitaja 2	8:00-17:00	8:00-17:00	8:00-17:00	8:00-17:00	8:00-17:00	Vaba	Vaba
Uus töögraafik (2+2)							
Keevitaja 1	8:00-20:00	8:00-20:00	Vaba	Vaba	8:00-20:00	8:00-20:00	Vaba
Keevitaja 2	Vaba	Vaba	8:00-20:00	8:00-20:00	Vaba	Vaba	8:00-20:00

Allikas: (autori koostatud).

Peamine graafikumuudatuse eesmärk oli töökeskuste tööaja ühtlustamine, et oleks vähem häireid tsehhide vahel. Tabelist 14 on näha, et uue graafikuga on töökeskuses üks töökoht vähem „mehitatud“, ehk kuni 50% tööpinnast vabaneb. Antud muudatusega inimese normtundide arv küll väheneb, viie päevase graafikuga on normtunnid nädalas 40 tundi, uue 2+2 graafikuga on see keskmiselt 38,5 tundi nädalas, kuid autori hinnangul reaal tööaeg ei vähene, sest tööde alustamine ja lõpetamine ühe vahetuse jooksul võib samastada seadistusajaga. Tööle hakkamine ja päeva lõpetamine eeldab tööriistade/tarvikute ja oma töökoha korda seadmist, mille suhe tööaega väheneb, kui vahetus on pikem. Projekti tulemusel vabanes keevitustsoonis vaba pinda uute projektide töötlemiseks, ladu ei pea materjali ettevalmistustsehhi ümber ladustama ja tsehhide vahel on



puhvripinnad vähem koormatud. Muudatuse mõju võis näha kohe, samaaegselt on tööl väiksem hulk inimesi, töökeskkond on rahulikum, tööde korraldamine meistritel samuti lihtsam. Projekti raames värvati juurde üks töötaja (tõstukijuht/laotöötaja), sest olemasoleva ühe laotöölisega polnud võimalik kahte vahetust tööle rakendada. Muudatuse tulemusena viidi kokku kaks laadimistsooni ja neid teenindavad transportöölised, mis aitas töötajate ressursi tõhusamalt kasutada. Ettevalmistustsehhis vabanenud puhvripinnad sai ära kasutada detailide ladustamiseks, mitte materjali ümbertõstmiseks kesklaost. Töökeskustes vabanenud pind annab võimaluse edaspidi tootmisressurssi suurendada.

Nelja valdkonna põhjal teostatud analüüsi ja ettevõttes juurutatud parendustegevuste kokkuvõtteks saab väita, et timmitud mõtteviis ja piirangute teooria koosrakendamine tootmisprotsesside juhtimises on reaalselt võimalik. Lihtsate ümberkorraldustega saab tööd muuta sujuvamaks ja paremini hallatavaks. Kokkuvõtvalt on analüüsi tulemused ja parendustegevused välja toodud tabelis 15.

**Tabel 15.** Analüüsis ilmnunud probleemid ja parendustegevused

<b>Valdkond</b>	<b>Analüüsi tulemus</b>	<b>Parendustegevus</b>
<b>Töökohtade täiustamine</b>	Töökohtade arendamine, täiustamine ei ole ettevõttes süsteemne ja üheselt reglementeeritud tegevus. Töökeskustes on isetehtud mööblit, praak detaile, kaubaluseid. Oht kvaliteedile ja töölisele.	Timmitud mõtteviisi 5S tehnikate rakendamine.
	Tööajakasutuse mõõdistamise põhimõtted ja piirangud.	Piirangute avastamine, bussigraafiku muudatus.
<b>Kvaliteedi parandamine</b>	Toote B kvaliteedikontroll on ajamahu- kas ja täis raiskavaid tegevusi.	Toote B kvaliteedikontrolli viimine tööliste ja meistrite haldusalasse.
	Toote B koostetsehhi lukkseppade ja keevitajate tegevused ebatäpsed, puuduvad korralikud abivahendid kvaliteedi tagamiseks.	Rakiste kasutuselevõtt, nende tähistamine ja süsteemne ladustamine töökeskuses.
<b>Kulude vähendamine</b>	Operatsioonide paljusus ja segane ülesehitus. Tööjõukulude ebaõige kajastamine. Raske läbi viia korralikku analüüsi.	Operatsioonide lihtsustamine, toodete protsesside süsteemse parandamise ja seire läbi paranduskande.
<b>Protsessivoo parendamine</b>	Toote A ebaühtlane toodangu voog, põhjuseks erinevused partii töötlemis- aegades.	Toode A partiide vähendamine ja tootmistsükli lühendamine.
	Toote D pikk tootmistsükkel	Pilootprojekt Toote D kirjeldamine.
	Piirangud töökeskuste vahel, sest osa tehasest töötab 5, osa 7 päeva nädalas.	Tehase töögraafiku muudatus.

Allikas: (autori koostatud).

Parenduste elluviimise hinnangulised kulutused ja saadava kasu on välja toodud tabelis 16, mis võimaldavad võrrelda erinevate parendustegevuste mõjusid. Tegemist ei ole täpsete mõõdetud tulemustega. Tööaja kuluks on arvestatud 10 eurot / tund.

**Tabel 16.** Parendustegevuste kulud ja kokkuvõid

<b>Parendustegevus</b>	<b>Projekti kulud</b>	<b>Saadav kasu</b>
Timmitud mõtteviisi 5S tehnikate rakendamine.	100 tundi kuus	10 000 eurot (ühekordne) 170 tundi kuus
Piirangute avastamine ja bussi-graafiku muudatus	puudub	150 tundi kuus
Toote B kvaliteedikontrolli viimine tööliste ja meistrite haldusalasse	20 tundi (ühekordne) 2000 eurot (ühekordne)	320 tundi kuus
Rakiste kasutuselevõtt, nende tähistamine ja süsteemne ladustamine töökeskuses	500 eurot (ühekordne)	240 tundi kuus
Operatsioonide lihtsustamine, toodete protsesside süsteemse parandamise ja seire läbi paranduskande	50 tundi kuus	60 tundi kuus detailsed mõõdikud, selgem aruandlus
Toode A partiide vähendamine ja tootmistsükli lühendamine	16 tundi kuus	Madalam varude tase, kiirem toodangu voog, paindlikum tootmine
Toote D kirjeldamine	40 tundi (ühekordne)	Ei saa mõõta
Tehase töögraafiku muudatus	168 tundi kuus	168 tundi kuus Kuni 50% suurem tootmisvõimsus

Allikas: (autori koostatud).

Tabelis 16 toodud ajalised mahud ei kajasta alternatiivtulusid, mida ettevõtte võidab suurema protsessivoo, täpsema kulude kajastamise, paranenud kvaliteedi ning puhtama töökeskkonna läbi. Kõik mõjud ei pruugi olla ka pikemas perspektiivis positiivsed, kui inertsil lastakse saada uuteks piiranguteks. Seetõttu on äärmiselt oluline jätkata pideva parendamisega.

## 2.3 Järeldused ja soovitusel tootmisprotsesside juhtimise arendamiseks

Käesolev alapunkt keskendub parandustegevustele, mida ettevõte võiks juurutada, mil-liseid tegevusi täiendada, et saavutada veelgi paremaid tulemusi ja parandada ettevõtte tootlikkust ning seeläbi muutuda konkurentsivõimelisemaks. Parendustegevused on tootmisprotsessides teostatavad muudatused, mis töö autori arvates annaksid magistr töö analüüsis kirjeldatud probleemidele lahenduse, aitaksid muuta tootmisprotsessi ühtla-semaks, vähendaksid tsükli aega ja suurendaksid sellega väärtustlisavat aega kogu toot-mise ajas. Lahenduste väljapakkumisel on lähtunud põhimõttest, et parendusettepanek oleks võimalikult odav ettevõtte jaoks, kiiresti ja lihtsalt teostatav. Parendustegevuste väljatöötamiseks kasutas autor timmitud mõtteviisi ja piirangute teooria tööriistu.

**Töökohtade korrastamise jätkamine** – 5S tehnikate edaspidine rakendamine töökohtadel, samuti tuleks dokumenteerida reidide korraldamise kord, kontrollimise mõõdikud ja meetmed, millega töötajaid mõjutada. Laiemalt on vaja jagada teavet 5S tehnikate kohta, mis sisaldaks eesmäärke, tulemusi, selle tehnika põhimõtteid jne. Vältimaks tege-vusi, mis ei taga kasu maksimeerimist, tuleks keskenduda piiravatele töökohtadele, kus muudatused võimaldaksid saavutada kiireid võite tööajas, kvaliteedis, jne. Projekti jätkusuutlikkuse tagamiseks tuleks korraldada kindla regulaarsusega tulemuste ülevaatust.

**Puhvrite juhtimine ja toodangu voo korrastamine** – kuni tooted on kirjeldamata ja segaduse tekkimise oht suur, tuleks sisemine logistika lahendada puhvrite moodustami-ne tsehhide vahel, kus igale tootegrupile on kindlaks määratud ala. Selleks kasutada ära graafikumuudatuse tulemusel vabanenud olemasolev riiulipind. Tähistada puhvrialad tootegruppide järgi ning koolitada töötajaid, et nad ladustamisel sellest kinni peaksid. Sellise ümberkorraldusega õnnestub kontrolli alla saada veel kirjeldamata tellimused, väheneks toodete otsimine ja üleliigsed liigutused. Puhvrite korrashoid ja kauba liigu-tamine võiks olla siselogistiku ülesanne.

Projekt aitaks kokku hoida tööliste ja meistrite ressursi. Näiteks koostetsehhi keevitaja-tele ettekomplekteeritud detailid aitaksid oluliselt vähendada kõrgelt tasustatud spetsia-listi aega, mida ta kulutab detailide otsimisele, keevitustarvikute laost nõutamisele, val-

mistoodangu transportimisele järgmisse töökeskusesse, jne. Tööline saaks keskenduda oma põhitööle.

**„Ümberseadistamine minutiga“ (SMED) põhimõtted** – kasutuskohaks ettevalmistustsehhi stantsid. Projekt on vajalik, sest sesoonsusest tingitud toodangumahtude tõus aastata teises pooles, tekitavad piirangu ettevalmistustsehhi seadmetel. Masinressurss on limiteeritud tundidega ööpäevas ja uute seadmete ost lükati 2013. aasta lõpul ettevõtte juhtkonna poolt tagasi turu ebakindla olukorra tõttu. Juhul, kui uued seadmed nüüd tellida, tuleks oodata minimaalselt pool aastat. Kiire lahendusena oleks kasutada ära olemasolev masinressurss, läbi protsessi parendamise ja raiskamise vähendamise. Olla valmis mahtude kasvuks olemasoleva seadmepargiga, tehes vähemaga rohkem. Stantside efektiivsuse ja abiaegade analüüs näitas, et väärtust mittelisavat aega, mida protsessist kõrvaldada on palju. Shingo (1985) väitel, võimaldavad erinevad ümberseadistamise (SMED) tehnikad vähendada seadistusaegasid kuni 98%.

Projekti raames tuleks esmalt viia läbi tutvustavad koolitused pingioperaatoritele ja eesttöölisele, et selgitada muudatuste vajalikkust ja saadavat kasu. Järgnevalt tuleks kaardistada tänased tööoperatsioonid ning mõõdistada operatsioonide pikkused. Peale seda saab ära määrata nn sisesed ja välised tegevused ning analüüsida, millised sisesed tegevused saab muuta välisteks. Projektiga võib alustada kohe, sest iga kokku hoitud minut seadistusel suurendab väärtuslikku seadmekasutust.

**Toodete üksikasjalik kirjeldamine majandustarkvaras** – autori hinnangul on tegemist kõige alusega, mis sisaldab endas: tootepuude koostamist, kaubakoodide loomist, materjali- ja ostukomponentide koosluste ning protsesside loomist. Projekti edukus määrab ära kogu ettevõtte võimekuse oma protsesse efektiivselt juhtida. Projekt on aluseks ka protsessijuhtimise teooriate edasiseks rakendamiseks, kuna ilma algandmeteta, ei ole võimalik süsteemselt parendusi ellu viia. Näiteks protsessivoo parendamiseks, peab suutma tootepõhiselt ressursside koormatust kaardistada. Toodete ressursikasutuse määramisel saab võimalikuks üles ehitada ressursside planeerimise süsteem (ERP). Peale toodete kirjeldamist saab tõhusamalt tööle rakendada ka töökeskuste elektroonilise tagasiside.

Projekti tulemusel parandataks veelgi info liikumist ja reaalajas jälgimist. Saadav kasu on vabastada tootmise operatiivjuhtimine tööliste palgaarvestuse täitmisest, toodete ot-simisest töömaal, jne, vabanevat ressursi on võimalik ära kasutada protsesside sisulisel parendamisel. Toodete kirjeldamine on samm nulljälgimisega tootmise suunas. Väga oluline on uute toodete kirjeldamise reguleerimine, mis tähendaks uute tellimuste kohest kirjeldamist (müügi hetkel) majandustarkvaras, enne tootmise alustamist. Tegevus aitab vältida olukorda, kus vanadele puudulikult kirjeldatud toodetele produtseeritakse juurde uusi. Eeldab see protseduurireeglite kohest kehtestamist ning töötajate koolita-mist.

Ettevõttes juba elluviidud parendustegevustest, peaks kindlasti edasi minema partiide vähendamise projektiga, kus tuleks koguda tagasisidet iga tehtud muudatuse kohta. Analüüsida, kuidas mõjutas muudatus materjalikasutust, kas muudatus tekitas töömaal juurde segadust või pigem muutis protsessi läbipaistvamaks, jne. Eriline tähe-lepanu tuleks pöörata toote A katuste ja valgustite osale. Kaasata tuleks rohkem töölisi, projekti edasistesse parendustesse, sest töötajate kogemusest saab kõige vahetuma taga-siside, mis aitab teha kiireid/tõhusaid muudatusi.

Parendused, mis antud uurimuse käigus läbi viidi ei olnud oma põhimõttelt AS Saku Metall Allhanke tehase spetsiifilised. Kindlasti ei oma teised tootmisettevõtted täpselt identseid tingimusi, kui uuritava objektil, kuid põhimõtteliselt on võimalik antud pa-rendusi ka teistes ettevõtetes rakendada. Töökohtade korrashoiu, kvaliteedi parandami-se, kulude vähendamise ja protsessivoo parendamine on iga tootmisettevõtte fookuses, sõltub vaid prioriteetsusest ehk milline osa neist on suurimaks piiranguks.

Uurimuse käigus teostatud parendustegevused ning ettepanekud on analüüsi ja töö käi-gus ilmsiks tulnud kitsaskohtade tõhusamaks muutmiseks. Need ei ole veel osa stratee-gilisest arengukavast, mis kahjuks ettevõttes puudub, kuid mille koostamine on äärmi-selt oluline. Protsesside diagnoosimiseks on ettevõtte juhtkond pidanud nõu erinevate väliskonsultantidega. Järgmine samm on tellida protsesside diagnostika, mille tulemuste põhjal saab paika panna põhjalikuma tegevuskava.

## KOKKUVÕTE

Tihenevas konkurentsitingimustes tuleb ettevõtetel leida üha uusi võimalusi kulude kokkuhoiduks. Üheks kulude vähendamise võimaluseks on muutuda efektiivsemaks läbi erinevate protsessijuhtimise teooriate rakendamise. Käesolevas uurimustöös analüüsiti kahte protsessijuhtimise teooriat: Jaapani autotööstusest alguse saanud Toyota tootmis-süsteem (*Toyota Production system*) ja hilisemalt nime saanud timmitud mõtteviis (*Lean Thinking*) ning piirangute teooria (*Theory of Constraints*), millele pani alusele Israeli füüsik Eliyahu Moshe Goldratt. Mõlemaid protsessijuhtimise teooriaid on üksikult edukalt rakendatud üle maailma paljudes valdkondades nagu: tootmises, teeninduses, ehituses, tervishoius, infotehnoloogias ja mujal. Käesolevas uurimustöös uuriti nende teooriate koosrakendamise võimalusi tootmisprotsesside juhtimises.

Uurimustöö teoreetilises osas anti ülevaade mõlema teooria põhimõtetest, millele järgnes nende rakendamise tehnikate tutvustus. Timmitud mõtteviisi tehnikate kirjeldamise fookuses olid Womack ja Jones'i viis põhimõtet, 14 Toyota põhimõtet ja Kobayashi 20 võtme süsteem. Edasise analüüsi baasiks kasutas uurimuse autor 20 võtit koondavad nelja suuremat parendusvaldkonda, milleks olid: töökohtade-ja kvaliteedi parendamine, kulude vähendamine ning protsessivoo parendamine. Piirangute teooria ja timmitud tootmise tehnikate omavahelises võrdluses toodi välja kahe teooria sarnasused ja erisused. Autori hinnangul ei ole otstarbekas koos rakendada kahte voo juhtimise instrumenti (kanban kaart ja trumm-puhver-nöör süsteemi), mille põhimõtted erinevad. Samas ei näe taksitust kasutada neid ühes ettevõttes, näiteks erinevate toodete puhul. Teiste tehnikate puhul selgusid erinevad koosrakendamise võimalused.

Uurimustöö empiirilistes osas tutvustati analüüsitavat objekti, milleks oli tootmisettevõtte AS Saku Metall Allhanke Tehas. Kirjeldati ettevõtte tootmisbaasi ja majandustulemusi. Tootmisprotsesside analüüsimisel keskenduti peamiselt protsessivoole, kuid analüüsiti ka töökohtade täiustamise, kvaliteedijuhtimise parendamise ja kulude vähenda-

mise võimalusi Annalüüsi tulemusena kirjeldas autor peamised puudused tootmisprotsessides, mis said sisendiks parendustegevuste juurutamisel.

Järgnevalt tutvustas autor parendustegevusi, mida ettevõttes juurutati ajavahemikus jaanuar-märts 2014.a. AS Saku Metall Allhanke Tehases, Põrguvälja tee 25. Kasutades selleks esimeses peatükis käsitletud kahe protsessijuhtimise teooria tehnikaid. Töökohade täiustamiseks taasalustati 5S projektiga, kuid seda väiksemas mahus, et säiliks suutlikkus tegevusi hallata. Kvaliteedi parendamiseks viidi paljud kontrollivad ülesanded (näiteks keevituse visuaalne vaatlus) tööliste ja meistrite tööülesandeks. Muudatuse tulemusel vabanes kvaliteediosakonna ressurs, mis ennem oli piiranguks toodangu voos, samuti vähendati üleliigseid, väärtust mittelisavaid toiminguid. Kulude vähendamiseks algatati üldine läbipaistvuse parendamise projekt, mille raames lihtsustati tööoperatsioone. Toodete protsessivigade kohta tagasiside saamiseks liideti iga toote protsessile paranduskande operatsioon, teised operatsioonid lukustati. Tagasiside analüüsimine muudeti regulaarseks, millele järgnevad kohesed parendustegevused. Läbipaistvuse parendamiseks käivitati pilootprojektina toodete kirjeldamine, mille raames kirjeldati toote parameetrid majandusarvestussüsteemis. Kirjeldamise tulemusel saab luua detailised mõõdikud ning võimalikuks saab reaalajas tootmisinfo kogumine töökeskustest, mis on oluline samm töö lihtsustamiseks, kasutades selleks tehnoloogia võimalusi. Protsessivoo parendamisel lähtuti maksimaalsest kasust, valiti kõige mahukam tootegrupp ja viidi läbi partiide vähendamine, eesmärgiga muuta toodangu voog kiiremaks ning selle tulemusel lühendada tootmistsükliaga. Piirangute tuvastamise projekti raames loodeti vältida nn üleettevõttelisi mahukaid parendusprojekte, millega ettevõtte juhtidel puudub võimekus tegeleda. Seeläbi avastati töögraafiku erinevustest tingitud pudelikaelad, muudeti lihtsate töökorraldustega toodangu ja info voogu ühtlasemaks.

AS Saku Metall Allhanke tehase tootmisprotsesside empiirilise osa kokkuvõtteks saab välja tuua järgmised punktid:

- kahe teoreetilise käsitlemise tehnikaid saab edukalt ka koos rakendada tootmisprotsesside juhtimisel;
- piirangute teooria kitsas fookus probleemi tuvastamisel, aitab timmitud mõtteviisi tehnikate mastaapsust vähendada;



- timmitud mõtteviisi erinevad korrigeerivad tehnikad täiendavad omakorda piirangute teooriat, kus sellised abivahendid puuduvad;
- rakendades kahe teooria osi, on võimalik ettevõtte protsesse parendada ning töötajate kompetentsi vastavas valdkonnas tõsta.

Timmitud mõtteviis ja piirangute teooria koosrakendamise takistuseks võib osutuda nende põhimõtete tundmaõppimine ja selgitamine ettevõtte töötajatele. Muudatuste elluviimine ja tööliste ümberõpe on suurimaks väljakutseks, miks vastavasisulised projektid ebaõnnestuvad. Mõlema teooria propageerijad ja koolitajad pigem eelistavad jääda oma valdkonna juurde. Kvaliteetse koolitusteenuse saamiseks ja vajaliku informatsiooni kokkusidumiseks, peab ettevõtte omama ise piisavalt head ülevaadet, millist osa teooriatest saab siduda ja mida mitte ning milline oleks maksimaalne kasu.

Uurimustöö viimases punktis pakkus autor välja edasise tegevusplaani ettevõtte tulemuste parandamiseks. Tegevuste hulka kuulusid töökohtade korrastamise projektiga jätkamine, mis aitab protsessi läbipaistvust parandada. Lisaks tuleks ettevõttel panustada toodete kirjeldamisse, mis on protsessivoo läbipaistvuse nurgakivi ja annab võimaluse tööle rakendada tootmise ressursside planeerimise. Puhvrite moodustamine kõikidele tootegruppidele võimaldab luua visuaalselt selge toodete voo. Kiirete ümberseadistamiste (*SMED*) tehnika põhimõtete selgitamine töötajatele ja piirangute kaardistamise oskusteave, loovad valmisoleku tootmiskahtude kasvuks, mille tõttu on autori hinnangul kõige haavatavamad just ettevalmistustsehhi seadmepark.

Uurimuses käsitletud timmitud mõtteviis ja piirangute teooria tehnikate koosrakendamise võimalikkus ja sellest saadav kasu võiksid sobida ka teistele Eesti tootmisettevõtetele. Kogemusel baseeruvad ja reaalses olukorras äraproovitud näited on hea tõestus, et saab ka erinevaid teooria osi kombineerida. Antud teavet võiks täiendavalt testida erinevates situatsioonides ning info koondada õppematerjaliks, mida saaks kasutada juhtimisotsuste langetamisel.

## VIIDATUD ALLIKAD

1. **Ahuja, I. P. S., Khamba, J. S.**, Total productive maintenance: literature review and directions, *International Journal of Quality & Reliability Management*, 2008, Vol. 25 Iss: 7, pp.709 – 756.
2. **Azzam, R. S., Arias, L., C., Zhou, S.** Managing a Manufacturing System with Integration of Walking Worker and Lean Thinking. *World Academy of Science, Engineering and Technology*. 2011, no 79, pp. 725-727.
3. **Belekoukias, I., Garza-Reyes, J. A., Kumar, V.** The impact of lean methods and tools on the operational performance of manufacturing organisations." *International Journal of Production Research* ahead-of-print, 2014: 1-21.
4. **Bergland, S., Jacob, D., Cox, J.** Velocity: Combining Lean, Six Sigma & The Theory Of Constraints To Accelerate Business Improvement: A Business Novel. Free Press 2009, 320 lk.
5. **Boyd, L., Gupta, M.** Constraints management: What is the theory?, *International Journal of Operations & Production Management*, 2004, Vol. 24 Iss: 4, pp.350 – 371.
6. **Coman, A., Ronen, B.** Management by Constraints: Coupling IS to Support Changes in Business Bottlenecks. *Human Systems Management*, 1995, 65-70.
7. **Comm, C. L., Mathaisel, D. F. X.** Less is more: a framework for a sustainable university, *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 2003, Vol. 4 Iss: 4, pp.314 – 323.
8. **Dahlgaard, J. J., Dahlgaard-Park, S. M.** Lean production, six sigma quality, TQM and company culture", *The TQM Magazine*, 2006, Vol. 18 Iss: 3, pp.263 – 281.
9. **Dettmer, H. W.** Beyond Lean manufacturing: Combining Lean and the Theory of Constraints for higher performance. Port Angeles, US 2001.

10. **Dinesh, S., Gupta, V.** Application of value stream mapping for lean operations and cycle time reduction: an Indian case study. *Production Planning & Control* 16.1 2005, 44-59.
11. **Emiliani, M. L., Seymour, P. J.,** Frank George Woollard: forgotten pioneer of flow production, *Journal of Management History*, 2011, Vol. 17 Iss: 1, pp.66 – 87.
12. **Ettevõtte üldtutvustus** (AS Saku Metall kodulehekül) - [WWW]  
<http://www.sakumetall.ee/allhange/teenused/15.03.2013/>
13. **Ettevalmistusosakonna aruanne.** (AS Saku Metall Allhanke Tehas ) [CD-ROM]. 23.04.2014.
14. **Finantsaruanded.** (AS Saku Metall Allhanke Tehas). ). [CD-ROM]. 26.03.2014
15. **Fry, T. D., Karwan, K. R., Steele, D. C.** Implementing Drum-Buffer-Rope to Control Manufacturing Lead Time, *International Journal of Logistics Management*, 1991, Vol. 2 Iss: 1, pp.12 – 18.
16. **Gardiner, S. C., Blackstone J. H., Gardiner, Jr. L. R.** Drum-Buffer-Rope and Buffer Management: Impact on Production Management Study and Practices, *International Journal of Operations & Production Management*, 1993, Vol. 13 Iss: 6, pp.68 – 78.
17. **Goldratt, E. M., Cox, J.** Eesmärk. Pideva arengu protsess. Tallinn: Fontes, 1998, 407 lk.
18. **Goldratt, E. M.** The Haystack Syndrome: Shifting Information out of the Data Ocean, Croton-on-Hudson, 1990, New York, NY.
19. **Goldratt, E. M., Cox, J.** The Goal, 2nd rev. ed., North River Press, 1992, Croton-on-Hudson, NY, p. NY.
20. **Gupta, S. K., Dr Mahna, V. K., Dr Singh, R. V., Kumar, R.** Optimizing the unevenness in production scheduling through mathematical approach: A Case Study, *International Journal of Industrial Engineering* 2012.
21. **Hadas, L., Cyplik, P., Fertsch, M.** Method of buffering critical resources in make-to-order shop floor control in manufacturing complex products *International Journal of Production Research*. 2009, Vol. 47 Issue 8, p2125-2139.
22. **Haldusjuhtimise dokumentatsioon.** (AS Saku Metall failistruktuur). [CD-ROM]. 26.04.2014.

23. **Hines, P., Holweg, M., Rich, N.** Learning to evolve: A review of contemporary lean thinking, *International Journal of Operations & Production Management*, 2004, Vol. 24 Iss: 10, pp.994 – 1011.
24. **Kakouris, A. P., Polychronopoulos, G.** Enterprise Resource Planning (ERP) System: An Effective Tool for Production Management", *Management Research News*, 2005, Vol. 28 Iss: 6, pp.66 – 78.
25. **Kivirüüt, A.** (AS Saku Metall Allhanke Tehas müügijuht). Autori intervjuu. 20.10.2013.
26. **Kukkonen, J.** Sissejuhatus LEAN tootmisesse, *Koolitusmaterjal*, 2012.
27. **Kuluaruanded.** (AS Saku Metall Allhanke tehas). [CD-ROM]. 26.03.2014.
28. **Laidroo, L.** Käibekapitali juhtimine: loengu konspekt. 2009. [CD-ROM]. 24.03.2010.
29. **Lander, E., Jeffrey, J. K.** The Toyota Production System and art: making highly customized and creative products the Toyota way, *International Journal of Production Research*, 2007, 3681-3698.
30. **Liker, J. K.** The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer. USA: McGraw-Hill Professional, 2004, 335p.
31. **Lõpetatud toodangu aruanne.** (AS Saku Metall Allhanke Tehas). ). [CD-ROM]. 26.03.2014
32. **Mabin, V. J., Balderstone, S. J.** The performance of the theory of constraints methodology: Analysis and discussion of successful TOC applications", *International Journal of Operations & Production Management*, 2003, Vol. 23 Iss: 6, pp.568 – 595.
33. **Motwani, J.** A business process change framework for examining lean manufacturing: a case study, *Industrial Management & Data Systems*, 2003, Vol. 103 Iss: 5, pp. 339 – 346.
34. **Näslund, D.** Lean, six sigma and lean sigma: fads or real process improvement methods?, *Business Process Management Journal*, 2008, Vol. 14 Iss: 3, pp.269 – 287.
35. **Ohno, T.** Toyota Production System: Beyond Large Scale Production. Productivity Press, 1988, 176p.

36. **Pegels, C. C., Watrous, C.** Application of the theory of constraints to a bottleneck operation in a manufacturing plant, *Journal of Manufacturing Technology Management*, 2005, Vol. 16 Iss: 3, pp.302 – 311.
37. **Pegels, C. C.** The Toyota Production System-Lessons for American Management, *International Journal of Operations&Production Management*, 1984, Vol.4 Iss:1, pp.3-11.
38. **Pepper, M. P. J., Spedding, T. A.,** The evolution of lean Six Sigma, *International Journal of Quality & Reliability Management*, 2010, Vol. 27 Iss: 2, pp.138 – 155.
39. **Rahman, S.** Theory of constraints: A review of the philosophy and its applications, *International Journal of Operations & Production Management*, 1998, Vol. 18 Iss: 4, pp.336 – 355.
40. **Rawabdeh, I. A.,** A model for the assessment of waste in job shop environments, *International Journal of Operations & Production Management*, 2005, Vol. 25 Iss: 8, pp.800 – 822.
41. **Rodrigues, L. H., Mackness, J. R.** Teaching the meaning of manufacturing synchronisation using simple simulation models, *International Journal of Operations & Production Management*, 1998, Vol. 18 Iss: 3, pp.246 – 259.
42. **Sánchez, M. A., Pérez, M. P.** Lean indicators and manufacturing strategies, *International Journal of Operations & Production Management*, 2001, Vol. 21 Iss: 11, pp.1433 – 1452.
43. **Staats, B. R., Brunnerb, D. J., Uptonc, D. M.** Lean principles, learning, and knowledge work: Evidence from a software services provider *Journal of Operations Management*, 2011, Vol. 29 Iss:5, pp. 376–390.
44. **Scheinkopf, L. J.** Thinking for a change: putting the TOC thinking processes to use. Boca Raton (Fla.) [etc.]: St. Lucie Press, c1999, 255 lk
45. **Shingo, S.** A study of the Toyota production system from an industrial engineering viewpoint, New York Productivity Press, c1989, 257 lk.
46. **Shingo, S.** A revolution in manufacturing: the SMED system, Productivity Press, c1985, 361lk.
47. **Simons, D., Zokaei, K.** Application of lean paradigm in red meat processing, *British Food Journal*, 2005, Vol. 107 Iss: 4, pp.192 – 211.

48. **Smith, R., Hawkins B.** Lean maintenance: Reduce costs, improve quality, and increase market share, Elsevier Butterworth-Heinemann, c2004, 287 lk
49. **Starosta, V.** (AS Saku Metall Allhanke Tehas komplekteerija). Autori intervjuu. 18.10.2013.
50. **Stein, R. E.** The theory of constraints: applications in quality and manufacturing, New York [etc.]: Dekker, c1997. 306 lk.
51. **Zantinga, J. T.,** Improvements in Spanish Factories: Towards a JIT Philosophy?, International Journal of Operations & Production Management, 1993, Vol. 13 Iss: 4, pp.40 – 49.
52. **Takahashi, K., Morikawa, K., Chen, Y.** Comparing kanban control with the theory of constraints using Markov chains. International Journal Of Production Research, 2007, 45(16), 3599-3617.
53. **Tatter, A.** (AS Saku Metall Allhanke Tehas keevitaja). Autori intervjuu. 18.10.2013.
54. **Tolliday, S., Zeitlin, J.** Between Fordism and Flexibility: The Automobile Industry and Its Workers: Past, Present and Future, Centre for Economic Policy Research, 1986, no 131, pp. 153-171.
55. **Toodete dokumentatsioon.** (AS Saku Metall Allhanke tehas failistruktuur). [CD-ROM]. 26.03.2014.
56. **Tsükliajad** (AS Saku Metall Allhanke Tehas majandusarvestussüsteem). [CD-ROM] 22.02.2014.
57. **Watson, K. J., Blackstone, J. H., Gardiner, S. C.** The evolution of a management philosophy: The theory of constraints, Journal of Operations Management, 2007, Vol. 25 Iss:2 pp.387–402.
58. **Watson, K. J., Patti A.** A comparison of JIT and TOC buffering philosophies on system performance with unplanned machine downtime, International Journal of Production Research, 2008, 1869-1885.
59. **Wilson, M. M. J., Roy, R. N.** Enabling lean procurement: a consolidation model for small- and medium-sized enterprises, Journal of Manufacturing Technology Management, 2009, Vol. 20 Iss: 6, pp.817 – 833.

60. **Womack, J. P., Jones, D. T., Roos, D.** Masin mis muutis maailma. Kuidas timmitud tootmine tõi pöörde ülemaailmsetesse autosõdadesse. Tallinn: Külim, 2010. 337 lk.
61. **Womack, J. P., Jones, D. T., Roos, D.** The Machine that Changed the World, London: Simon & Schuster, 2007, UK Ltd.
62. **Yin, R. K.** Case Study Research: Design and Methods. 4<sup>th</sup>ed. Thousand Oaks, Sage Publication, 2009, 219p.

## LISAD

### Lisa 1. AS Saku Metall töökeskuste loetelu

Töökeskus	TKS tähis	TKS pindala	Puhver	Grupi ID
1	2	4	5	7
Giljotiin Amada GPS	GIL-1	159	-	AHGIL
Lehetöötluskeskus Q	LTKQ-1	188	-	AHLTK
Lehetöötluskeskus C6	LTKF-2	351	120	AHLTK
Lehetöötluskeskus SG	LTKF-3	336	-	AHLTK
Kantpink 40	KA40-1	72	-	AHKAP
Kantpink 25	KA25-1	105	60	ATKAP
Kantpink 402 FP	KA40-2	65	-	AHKAP
Kantpink Amada Astro	KA30-A	117		AHKAP
Profiilsaag	AHS-2	180	91	AHSAA
Toode A koostelaud	AHKL-1-4	4x135	-	AHKOFEKOO
Toode A komplekteerimine	AHK-1, 2	384+414	-	AHKOEFKMP
Toode A valgustite kompl.	VAK-1	425	-	AHKOVAKMPL
Toode B koostelaud	AHKL-8	69	-	AHIPKOO
Toode B komplekteerimine	AHK-5	46,5	-	AHIPKMP
Toode C koostelaud	AHKL-10	69	-	AHMAKOO
Toode C komplekteerimine	AHK-7	46,5	-	AHMAKMP
Toode D koostelaud	AHKL-9	Sisaldu- vad IP-s	-	AHMAKOO
Toode D komplekteerimine	AHK-6	246	81	AHMAKMP
Toode E kompl.	AHK-4	16	-	AHEFKMP
Toode F koostelaud	AHKL-7	Sisaldu- vad IP-s	-	AHMFKOO
Toode F komplekteerimine	AHK-3	Sisaldu- vad IP-s	-	AHMFKMP
Punktkeevitus	AHPK-1	130	54	AHKOPK
Punktkeevitus (ripp)	AHPS-1	108	54	AHKOPK
Pulbervärviliin	VLP-1	540	-	ATPUVAR
Press	PMP-1	21	-	AHPMP
Ladude kulukeskus	LAOD	X	-	LADTKS
Valmistoodangu ladu	VTL-3	216	-	AHVTLTKS
Valtspink DAVI	VAP-1	47	-	AHVAP
Vineerisaag (162m2)		162		
Pooltoodete ladu (65m2)		65		

Allikas: AS Saku Metall Allhanke Tehas, Töökeskuste nimekiri



**Lisa 2. AS Saku Metall Allhanke tehase müügikäive, 2013 aastal  
(EUR)**

Periood	Ettevõtte käive	Toode A	Tooted B-F summa	Toode B	Toode C	Toode D	Toode E	Toode F
<b>jaan.13</b>	922 176	786 413	135 761	17 106	58 094	10 436	1 892	48 233
<b>veebr.13</b>	795 224	628 985	166 238	51 225	58 955	9 896	6 517	39 645
<b>märts.13</b>	770 686	606 083	164 603	67 352	27 206	8 905	10 751	50 389
<b>apr.13</b>	1 038 034	805 458	232 577	110 967	29 337	5 290	3 965	83 018
<b>mai.13</b>	897 967	691 856	206 110	103 710	14 033	10 805	6 270	71 292
<b>juuni.13</b>	1 092 707	875 773	216 935	49 665	69 838	13 322	6 468	77 642
<b>juuli.13</b>	975 551	826 616	148 936	2 244	36 366	10 413	10 849	89 064
<b>aug.13</b>	967 782	868 903	98 878	2 255	8 394	12 263	15 582	60 384
<b>sept.13</b>	1 128 422	1 014 108	114 313	1 290	2 085	21 338	10 157	79 443
<b>okt.13</b>	1 070 525	925 501	145 025	3 173	29 465	18 384	9 092	84 911
<b>nov.13</b>	961 675	758 376	203 298	780	46 366	26 363	12 288	117 501
<b>dets.13</b>	910 112	789 822	120 290	412	34 461	12 697	6 342	66 378

Allikas: (Kuluaruanded 2014)

**Lisa 3. AS Saku Metall Allhanke tehase kasum/kahjum, 2013  
aastal (EUR)**

Periood	Ettevõtte EBITDA	Toode A EBITDA	Toode B-F EBITDA kokku	Toode B EBITDA	Toode C EBITDA	Toode D EBITDA	Toode E EBITDA	Toode F EBITDA
jaan.13	9 818	31 440	-21 622	-22 125	-436	-984	-1 037	2 960
veebr.13	-42 362	-16 820	-25 542	-26 657	-1 275	-1 535	1 920	2 005
märts.13	-46 432	-20 351	-26 081	-31 183	315	2 163	1 025	1 599
apr.13	138 002	136 008	1 994	-9 336	306	392	283	10 349
mai.13	-17 143	3 809	-20 952	-26 151	-1 045	1 159	-711	5 796
juuni.13	134 916	128 453	6 463	-5 833	1 125	-808	1 089	10 890
juuli.13	136 341	95 259	41 082	134	7 845	776	2 537	29 790
aug.13	88 261	90 169	-1 908	-69	-1 819	-2 789	1 074	1 695
sept.13	116 723	113 531	3 192	-1 879	382	-5 291	896	9 084
okt.13	86 547	98 359	-11 812	-1 564	-5 133	-905	518	-4 728
nov.13	31 698	31 615	83	-5 635	4 138	-4 610	1 405	4 785
dets.13	75 782	78 946	-3 164	-12 099	-1 071	-3 486	828	12 664

Allikas: AS Saku Metall Allhanke tehas, 2013 aasta kuluaruanded

## Lisa 4. Tootmistellimuse spetsifikatsioonid

Osaliselt kirjeldatud toote spetsifikatsioon

### Tootmistellimuse spetsifikatsioon



142711/001

01.03.2013

Lk 1

Nimetus	Kaubakood	Tootmine	Kogus	SM	Tarne
---------	-----------	----------	-------	----	-------

#### Põhitooted

<b>C400</b>		<b>MA0C400</b>		<b>100,00</b>	<b>Jah</b>
				<b>A004213</b>	
<u>Op. ID</u>	<u>Op. nimi</u>	<u>TKS grupp</u>	<u>Tähtsime</u>	<u>Teostaja ID</u>	
MA010	MA detailide stantsimine ja nakerdamine	LTKQ-1	17,00		
MA020	MA detailide stantsimine ja nakerdamine	LTKF-2	15,00		
MA030	MA detailide painutamine	AHKAP	21,00		
MA045	MA detailide saagimine	SAFG-1	9,00		
MA050	MA detailide keevitamine	AHMAKOO	266,00		
MA060	MA detailide punktkeevitamine	AHKOPKK	26,00		
MA070	MA detailide koostamine	AHMAKMP	128,00		
MA080	MA komplekteerimine	AHMAKMP	10,00		
MA100	MA detailide värvimine	AHMAKMP	52,00		

Kirjeldamata toote spetsifikatsioon

### Tootmistellimuse spetsifikatsioon



146300/001

01.03.2013

Lk 1

Nimetus	Kaubakood	Tootmine	Kogus	SM	Tarne
---------	-----------	----------	-------	----	-------

#### Põhitooted

<b>Allhanketöö Saku Metall materjalist AHO</b>	<b>ESP001</b>		<b>20,00</b>	<b>Jah</b>	
				<b>A033394</b>	

MT .....: 146300	Proj. kp. ....: 1.03.2013	Kliendi viide ...:
Seeria nr. : 146300/001	Valmistamise kp: 3.03.2013	Kliendi tähis ...:
Segment : TAV	Paigalduse kp: 5.03.2013	Tellija ..... Electric Export
Projektijuh: OKOR	Väljastusladu :	Objekti aadr. ...:
Sihtriik ...: Eesti		Tarnetingimuse:

Allikas: AS Saku Metall Allhanke Tehas majandustarkvara

## Lisa 5. Tootepuu (toode D)

Alamkoostu kaubakood	Detaili kaubakood	Ostu tooted	Ko-gus	Toote nimetus
MA3331	MAPT001		1	Pooltoode (detail)
	MAPT002		1	Pooltoode (detail)
	MAPT003		1	Pooltoode (detail)
	MAPT004		1	Pooltoode (detail)
	MAPT005		2	Pooltoode (detail)
		810037	3	Keevismutter kuuskant M8 DIN 929 W-03998
		810422	1	Keevismutter kuuskant M10 W-039910
		810252	2	Keevismutter kuuskant M6 W-03996
		810427	3	Keevismutter kuuskant M5 W-03995
MA3247	MAPT006		1	Pooltoode (detail)
	MAPT007		1	Pooltoode (detail)
	MAPT008		1	Pooltoode (detail)
	MAPT009		1	Pooltoode (detail)
		730342	2	Päästylevy MAP_3248a4
		730277	2	Akselintiholkki D30 L42 MAP_3496A3
MA4027		810252	4	Keevismutter kuuskant M6 W-03996
	MAPT010		1	Pooltoode (detail)
	MAPT011		1	Pooltoode (detail)
MA4031		735176	1	Gesipa Al 3,2*9,5 poly grip
	MAPT012		1	Pooltoode (detail)
	MAPT013		1	Pooltoode (detail)
	MAPT014		1	Pooltoode (detail)
		735176	1	Gesipa Al 3,2*9,5 poly grip
MA3353	MAPT015		2	Pooltoode (detail)
	MAPT016		1	Pooltoode (detail)
	MAPT017		1	Pooltoode (detail)
	MAPT018		2	Pooltoode (detail)
	MAPT019		1	Pooltoode (detail)
	MAPT020		1	Pooltoode (detail)
		810465	2	Polt täiskeere M10*60 DIN933 W-10571060
		730343	1	Radan pääty oikea MAP_3364b2
MA3545		730344	1	Radan pääty vasen MAP_3240a3
	MAPT021		1	Pooltoode (detail)
	MAPT022		1	Pooltoode (detail)
MA4161		730279	1	Väliputki D60*2 L7 MAP_0553A2
	MAPT023		1	Pooltoode (detail)
	MAPT024		1	Pooltoode (detail)
	MAPT025		2	Pooltoode (detail)
MA0621		810427	2	Keevismutter kuuskant M5 W-03995
	MAPT026		1	Pooltoode (detail)
MA3238		730365	1	Mutter DIN 6330 L 13,3 0620
	MAPT027		1	Pooltoode (detail)
	MAPT028		1	Pooltoode (detail)
		730287	1	Laakerointijtk D25/d21 L167 MAP_0708A1 Mapping
		730289	1	Täyttöputki D50*2 L47 MAP_0590A1
		730288	1	Uratappi D8L35 MAP_0614A1

### Lisa 5 (järg)

Alamkoostu kaubakood	Detaili kaubakood	Ostu tooted	Ko-gus	Toote nimetus
MA1175	MAPT029		1	Pooltoode (detail)
	MAPT030		1	Pooltoode (detail)
	MAPT031		1	Pooltoode (detail)
	MAPT032		1	Pooltoode (detail)
		730275	1	Laakeroointijatke D25/d21 L120 MAP_1184A1 Mapping
		730274	1	Akseli D19 L62 MAP_1179A2
		730267	1	Kallistusputki D28/d25,2 L85 Map_0335A3 Mapping
MA3643		730278	1	Holkki D30 L20 MAP_3641A1
		730345	1	Vipulevy MAP_3642a1
MA3251a9	MAPT033		1	Pooltoode (detail)
MA3384a3	MAPT034		1	Pooltoode (detail)
MA3500c2	MAPT035		1	Pooltoode (detail)
MA3569a7	MAPT036		1	Pooltoode (detail)
MA3514a5	MAPT037		1	Pooltoode (detail)
MA4034b5	MAPT038		1	Pooltoode (detail)
MA4042a4	MAPT039		1	Pooltoode (detail)
MA3562a6	MAPT040		1	Pooltoode (detail)
MA3720a3	MAPT041		1	Pooltoode (detail)
MA13039a2	MAPT042		1	Pooltoode (detail)
MA4065a2	MAPT043		6	Pooltoode (detail)
MA0556c2	MAPT044		1	Pooltoode (detail)
MA0655b2	MAPT045		1	Pooltoode (detail)
MA3529a2	MAPT046		1	Pooltoode (detail)
MA13040a2	MAPT047		1	Pooltoode (detail)
MA3533b1	MAPT048		1	Pooltoode (detail)
MA0328a3	MAPT049		2	Pooltoode (detail)
MA0405a8	MAPT050		1	Pooltoode (detail)
MA1524a3	MAPT051		1	Pooltoode (detail)
MA3733a2	MAPT052		1	Pooltoode (detail)
MA3734a1	MAPT053		1	Pooltoode (detail)
MA3728a6	MAPT054		1	Pooltoode (detail)
MA3561b1	MAPT055		1	Pooltoode (detail)

Allikas: (Toodete dokumentatsioon 2014); autori koostatud

## Lisa 6. Tsükliaja ja lõpetamata toodangu seos

	Toode A	Toode B	Toode C	Toode D	Toode F	Toode G
Tootegrupi otsekulu	6 643 696	449 825	64 907	142 050	306 245	707 594
Suhe kogu otsekuludes-						
se	79,91%	5,41%	0,78%	1,71%	3,68%	8,51%
Keskmine tsükliage	23,43	21,95	10,30	85,82	43,71	8,45
Tsükliaja kärbe (päev)	1	1	1	1	1	1
Tsükliage vähendatuna						
ühe päeva võrra	22,43	20,95	9,30	84,82	42,71	7,45
Lõpetamata toodang	120 836	8 181	1 181	2 584	5 570	12 870
K-väärtus	0,28	0,30	0,64	0,08	0,15	0,77
Lõpetamata toodang						
peale tsükliaja lühene-						
mist	115 678	7 809	1 066	2 554	5 443	11 347
Kokkuhoid lõpetamata						
toodangus	5 157	373	115	30	127	1 523

Allikas: (Finantsaruanded 2014); autori koostatud.

## Lisa 7. Seitsme raiskamise omavahelised seosed

<b>Ületootmise mõjud</b>	
Ületootmine - Varud	Ületootmine tarbib ja vajab suures koguses toormaterjali, põhjustades sellega suurema laopinna vajaduse, suurema koguse lõpetamata toodangu varu, mis koormab tootmispinda.
Ületootmine - Defektid	Ületootmisel kahaneb kvaliteedi kontrolli osa, sest alati on piisavalt materjali, millega asendada defektsed osad
Ületootmine – ebavajalikud liigutused	Ületootmine põhjustab mitte-ergonoomilist käitumist, mis viib mitte standardsete töömeetoditeni, mis omakorda põhjustab palju ebavajalikke toiminguid.
Ületootmine - Transport	Ületootmine põhjustab suurema vajaduse transpordile, sest protsessis on rohkem toormaterjali ja valmistatavaid osi.
Ületootmine - Ootamine	Ületootmise tagajärjeks on suuremad ooteajad, järjekorrad seadmetel. Tulemus on partii ja protsessi viivitused.
<b>Varude mõjud</b>	
Varud - Ületootmine	Suurem materjali ja pooltoodete kodus võib töölisi innustada tegema rohkem. Töötasu seotus tootmismahuga.
Varud - Defektid	Suurem varude tase laos ja pooltoodanguna tootmises põhjustab ladustamise probleeme, pidevat ümberteisaldamist, mille käigus toodang võib saada kahjustatud.
Varud – Üleliigsed liigutused	Suurem varude hulk põhjustab otsimist, ümbertõstmist, käsitlemist, sorteerimist. Kõik see on ebavajalik tegevus.
Varud - Transport	Üleliigsed varud võivad ummistada liikumisteed, omakorda põhjustab suurema koormuse transpordile.
<b>Defektsete toodete mõjud</b>	
Defektid - Ületootmine	Defektide rohkus võib põhjustada ületootmist, sest püütakse kindlustada nn valikuvõimalus, suurema hulga osade seast saab korralikud välja sorteerida
Defektid - Varud	Suurem defektide hulk tähendab suuremaid varusid, sest praak tooted tuleb asendada, uuesti toota
Defektid – Üleliigsed liigutused	Defektsed tooted põhjustavad lisategevusi: kontrollimine, sorteerimine, otsimine.
Defektid - Transport	Defektsete toodete tagasi viimine töötlemisse suurendab ka transpordi vajadust.
Defektid - Ootamine	Ümbertöötlemine, asenduse uuesti tegemine koormab töökeskusi, mille tulemusel ootavad teised tellimused.
<b>Ebavajalikud liigutuste (EL) mõjud</b>	
EL - Varud	Mittestandardised töömeetodid viivad suure pooltoodangu hulgani
EL - Defektid	Mittestandardised töövõtted põhjustavad praaki.
EL - Ületöötlemine	Kui tööd on standardiseerimata, koormab see täiendavalt olemasolevaid ressursse
EL - Ootamine	Kui tegevused on standardiseerimata siis kulutatakse aega otsimisele, sorteerimisele, mis omakorda põhjustab pikema ooteaegasid.
<b>Transpordi mõjud</b>	
Transport - Ületootmine	Transpordi maksumuse optimeerimiseks toodetakse rohkem, et väheneks transpordi kulu ühiku kohta.
Transport - Varud	Ebapiisav materjali käsitlemise tehnika, viib varude kasvule, mis omakorda mõjutavad teisi protsesse.

## Lisa 7 (järg)

<b>Transpordi mõjud</b>	
Transport - Defektid	Transport on otsene oht vigastada toodangut, mida suurem on transpordi osakaal, seda suurem ka vigade tekkimise oht.
Transport – Üleliigsed liigutused	Mida suurem on transpordi osakaal, seda tõenäolisem on erinevate sorteerimise ja ladustamise toimingute rohkus. Rohkem ebavajalikke tegevusi.
Transport – Ootamine	Transport tekitab järjekordi, suureneb ka ootamine
<b>Ületöötlemise mõjud</b>	
Ületöötlemine - ületootmine	Ületöötlemisel püüeldakse madalama ühikuhinna poole, ressursse püütakse maksimaalselt koormata, mis võib lõpuks viia ületootmiseni.
Ületöötlemine - Varud	Liigne töötlemine põhjustab toodangu seisuaegseid töökeskuste vahel, pooltoodangu varud suurenevad.
Ületöötlemine – Defektid	Kui seadmed pole lõplikult seadistatud, inimestel pole korralikke tööjuhiseid, tulemuseks võib olla defektne toode.
Ületöötlemine – Üleliigsed liigutused	Tundmatu tehnoloogia või ebapiisavad tööjuhised tekitavad üleliigseid liigutusi.
Ületöötlemine – Ootamine	Kui tehnoloogia on ebasobiv või kulutatakse operatsioonidele põhjendamatult palju aega on tulemuseks tootmise järjekord eh ooteajad pikenevad
<b>Ootamise mõjud</b>	
Ootamine - ületootmine	Kui seadmete teenindamisel tekivad ooteajad siis võib tekkida vajadus toota rohkem, et vahepealseid seisakuid ei tekiks. See viib aga ületootmiseni.
Ootamine - Varud	Pidev ootamine võib tekitada olukorra, kus varutakse tooteid igaks juhaks rohkem, see aga lõppkokkuvõttes kasvatab varusid.
Ootamine - Defektid	Ootel olevad detailid võivad rikneda keskkonna mõjul (niiskus, mehhaanilised vigastused, jne)

Allikas: (Rawabdeh 2005: 806-807).



## Lisa 8. Kobayashi 20 võtit tootlikkuse tõstmiseks

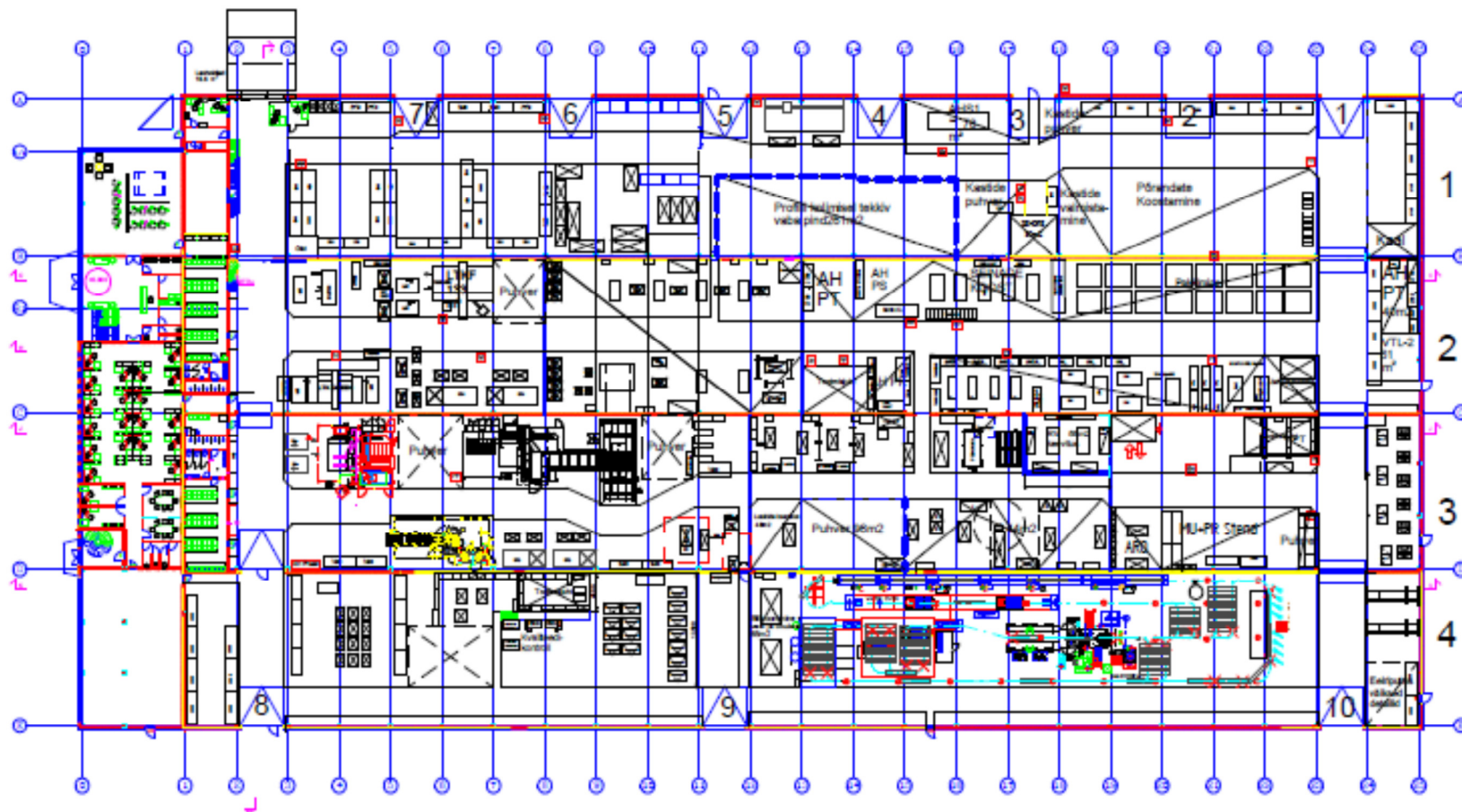
Võti	Põhisisu (märksõnad)
1. Puhastamine ja korrastamine	5S printsiipide juurutamine, keskendumine mustuse ja korratuse põhjustele, enesehindamine, töö lihtsamaks muutmine ja tõhususe tõstmine.
2. Süsteemi mõtestamine ja eesmärkide ühildamine	Ülalt-alla ja alt-üles juhtimise ühitamine, selge vastutuse ja organisatsiooni struktuuri määratlemine, eesmärkide selgus ja ühitamine ettevõtte igal tasandil (missioon, väärtused, mõõdikud)
3. Rühmatöö	Juhtide toetus rühmatööle, juhtkonna toetus väikestele üksustele ja parendamisele pühendunud meeskondadele, ideede ja ettepanekute käsitlemise süsteem.
4. Pooltoodangu vähendamine	Pooltoodangut mõjutavate tegurite analüüs, varude suuruse mõjurid ja vähendamise võimalused (programm), tootmistsükli lühendamine.
5. Kiires üleminekul	Mõistmise tekitamine – pikk üleminek on raiskamine, üleminekute analüüsimine, seadistusaegade vähendamise võimalused, info leidmise kiirendamine.
6. Protsesside Kaizen	Kaizen (pidev parendamine) vertikaalis, horisontaalis ja tegevustes, protsesside dokumenteerimine, analüüs, parendamine ja standardiseerimine, lisandväärtust mitteloovalte tegevuste likvideerimine, parendusprojektid lisandväärtuse suurendamiseks.
7. Nulljälgimisega tootmine	Inimraiskamist (kui ajaraiskamist) nõudvate protsesside ja seadmete väljaselgitamine, autopilootjuhtimisega protsesside, seadmete ja masinate rakendamise võimalused.
8. Seostatud tootmine	Sujuva ja kiire protsessivoogude loomine, koostöö loomine eelnevate ja järgnevate protsesside vahel, pidev optimeerimine (protsessid, varud, info, jm)
9. Seadmete ja muu tehnika hooldamine	Seadmete ennetava hoolduse planeerimine, hoolduse juhendid, hoolduste eest vastutajad, seadmete töömäära ja tõhususe tõstmine.
10. Töökohta distsipliin	Töötajate tööaja kasutamise analüüs, tööruumide ajakasutuse eeskirjad, füüsiliselt väsitava töö vähendamise võimalused, töökohtade korrashoid, töökorra reeglid.
11. Kvaliteedi kindlustamine	Kvaliteedi mõõtmise süsteem, kvaliteedikontroll, nulldefekti saavutamise võimalused, seoses ISO-ga.
12. Tarnijate arendamine	Sisemiste ja välimiste tarnijate määratlemine ja nendega koostöö arendamine, tarnijate tegevuse mõõtmine ja analüüs, tarnijate arendamise strateegia
13. Kadude (raiskamise) kõrvaldamine	Kadudest arusaamine (kõik mis ei lisa väärtust on kadu), kadude liigitamine, mõõtmine ja vähendamise/likvideerimise võimalused.
14. Töötajate innustamine parenduste tegemisel	Juhtkonna tugi parendusettepanekute tegemiseks ja rakendamiseks, töötajate innustamine ja volitamine parendusettepanekute elluviimiseks.
15. Mitmekülgsed oskused ja ristreeening	Töötaja oskuste hindamise ja arendamise analüüs ning vastava süsteemi loomine, oskuste maatriksi loomine, mitmekülgsuste oskuste ristreeeningu programm, tööstandardid ja juhendid.
16. Tootmise planeerimine	Planeerimine põhimõttel, et järgmine protsess on eelmise klient, arvutiseeritud planeerimissüsteem, tööde prioritseerimine ja jälgimine läbi kogu tootmisprotsessi, nn pudelikaelte juhtimine, õigeaegne tarnimine.

## Lisa 8 (järg)

Võti	Põhisisu (märksõnad)
17.Tõhususe kontroll	Tõhususe mõõtmine (toodete puhul: tegelik väljalase/standartväljalase; aja puhul: standard töötundide arv/tegelik töötundide arv), töönormid ja ajastandardid, töötajate kaasamine tõhususe parandamisse, tõhususe motiveerimine ja stimuleerimine.
18.Infotehnoloogia kasutamine	IT süsteemide abil ettevõtte äritegevuse parendamine, töömahukuse ja raiskamise vähendamine IT lahenduste abil, IT lahenduste integreerimine (kontor, tootmine, tarnijad, kliendid), töötajate IT alaste oskuste arendamine.
19.Energia ja materjalide säästmine	Materjalide ja energia kadude vähendamise ning tootlikkuse tõstmine, materjalide ja energiakulude vähendamisele ning kokkuhoiule orienteeritud kultuur, jääkide kasutamise võimalused, mõjud keskkonnale.
20.Juhtiv tehnoloogia / vastavad oskused	Keskendumine uute tehnoloogiate/toodete arendamiseks, vajalike eelduste (töötajate oskused, teadmised, kogemused, jm) tagamisele, uute (juhtivate) tehnoloogiate kasutusele võtmine, võrdlusanalüüsid, teadmisjuhtimine.

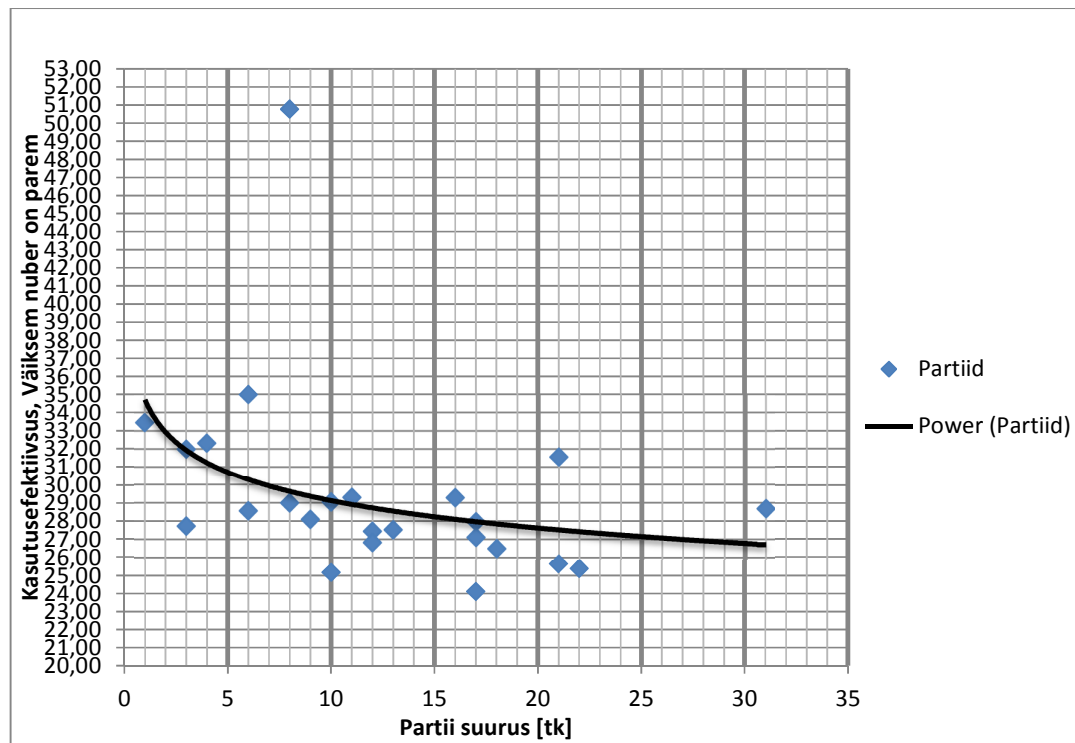
Allikas: (Kalle 2007: 88-89).

## Lisa 9. Põrguvälja tee 25 tootmishoone *Layout*



Allikas: (Haldusjuhtimise dokumentatsioon 2014)

## Lisa 10. Partii osakaal materjali kasutuses



Allikas: (Ettevalmistusosakonna aruanne 2014)

## SUMMARY

### CO-IMPLEMENTATION OF LEAN THINKING AND THEORY OF CONSTRAINTS FOR GOVERNANCE OF PRODUCTION PROCESSES IN EXAMPLE OF SAKU METALL ALLHANKE TEHAS LTD

Meelis Säinas

In the increasingly competitive environment, companies must find new ways for cost savings. One way to cut back on costs is to become more effective through implementing different process management theories. This thesis analysed two theories of process management: *Toyota Production System* that began in the Japanese automotive industry and was later named *Lean Thinking*, and *Theory of Constraints*, which was founded by an Israeli physicist Eliyahu Moshe Goldratt. Both of these process management theories have been used separately all over the world in many fields, including production, service, construction, health care, information technology and more. This thesis explored the possibilities of implementing both of these theories together in the management of production processes.

The objective of the thesis was to find ways to improve the production processes of AS Saku Metall Allhanke Tehas by combining the principles and techniques of lean production and the theory of constraints. To achieve the objective, the following tasks were set:

- finding out the main similarities and differences in the principles and methods of lean production and the theory of constraints;
- analysing the possibilities and obstacles of implementing lean production and the theory of constraints both together;
- analysing the production processes of AS Saku Metall Allhanke Tehas and the main weaknesses;

- analysing ways how to improve production processes in AS Saku Metall Allhanke Tehas based on lean production and the theory of constraints;
- finding out which techniques from lean production and/or the theory of constraints are suitable to be implemented in the future and which would help to increase productivity and would ensure the growth of the company's competitiveness.

The theoretical part of the study gave an overview of the principles in each of the theories, which was followed by the introduction of techniques for implementing these principles. In describing the techniques of lean thinking, the focus was on the five principles of Womack and Jones, the 14 principles of Toyota, and the “20 key system” of Kobayashi. As the basis for further analysis, the author used four larger improvement areas that aggregate the 20 keys: improving work space and quality, reducing cost, and improving process flow. Similarities and differences between the two theories were revealed by comparing the techniques of the theory of complaints and lean production. In the author's opinion, it's not practical to implement two flow management instruments together (the Kanban chart and the Drum-buffer-rope system), as they have different principles. At the same time, there doesn't seem to be any disadvantages to using both of these in the same company, perhaps on different products. In case of other techniques, different possibilities were revealed for implementing these together.

In the empirical section of the thesis, the object of analysis, AS Saku Metall Allhanke Tehas, was introduced. The company's manufacturing base and financial results were described. When analysing production processes, the thesis concentrated mainly on process flow, however, the possibilities for improving work places and quality management as well as reducing costs were also analysed. As the result of the analysis, the author described the main flaws in the production processes, which became the input of the implementation of improvement activities.

Next, the author introduced improvement activities which were implemented in the company from January 2014 until March 2014 in AS Saku Metall Allhanke Tehas, Põrguvälja tee 25. using the techniques from the two process management theories described in chapter one. To improve work places, project 5S was restarted, but in a

smaller volume to preserve the ability to manage all the activities. To improve the quality, a lot of inspection activities (like the visual inspection of welding) were given as work assignments to employees and foremen. As the result of this change, some of the quality department's resources were freed, which previously was a limitation to the production flow. Some unnecessary, non-value-adding activities were reduced as well. To reduce costs, a general project to improve transparency was started, under which work operations were simplified. In order to get feedback on the process flaws of the products, a correction operation was added to the process of each product, other operations were locked down. Feedback analysis was changed to take place regularly, followed immediately by improvement actions. To improve transparency, describing products was launched as a pilot project, within this context, the parameters of the product were described in the accounting system. As the result of these descriptions, it is possible to create detail metrics and to collect production information from the work centre in real time, which is an important step in simplifying work by using the opportunities given by technology. Process flow improvement was based on maximum benefits, the most extensive product group was chosen and reduction of batches was carried out in order to make product flow faster and get a shorter production cycle time as the result. Within the identification of the constraints project, it was hoped to avoid the so-called large-scale corporate-wide improvement projects, which the management of the company has no capability of dealing with. Thereby, disadvantages that came from different work schedules were discovered and the flow of production and information was shortened by making simple working arrangements.

In summarizing the empirical section on the production processes of AS Saku Metall Allhanke Tehas, the following points can be made:

- it is possible to successfully implement techniques from the two theoretical approaches in production process management at the same time;
- the tight focus of the theory of constraints in identifying the problem helps to reduce the scope of lean thinking techniques;
- in turn, the different corrective techniques of lean thinking complement the theory of constraints, where there are no such resources;

- by implementing parts of both theories, it is possible to improve the processes of the company and raise the competence of the staff in the field.

The biggest obstacle in using lean thinking and the theory of constraints together may be getting to know the principles and explaining these to the staff of the company. Implementing changes and retraining staff is the biggest challenge and often the cause why projects like these fail. Advocates and educators of each theory prefer to stay in their own field. In order to get quality training service and to link the necessary information together, the company must have a good enough overview on which part of the theories can be linked together and which not, also what would be the maximum benefit.

In the last section of the paper, the author suggested a further action plan to improve the results of the company. Activities included carrying on with the workplace arrangement project, which will help to improve the transparency of the process. Additionally, the company should invest in describing their products, which is the cornerstone of the process flow transparency, and provides an opportunity to implement resource planning for the production. Creating buffers for each product group enables to create a visually clear product flow. Explaining the principles of the Quick Changeover (SMED) techniques to the staff and the know-how of constraints mapping creates readiness for growth in production volumes, which is why the author thinks that the most vulnerable is the device park of the preparatory plant.

The possible implementation of lean thinking and the theory of constraints together, which were discussed in the thesis, and the benefits this gives, may work for other Estonian manufacturing companies as well. Examples that are based on experience and have been tried out in a real situation make good evidence of the fact that it is possible to combine different parts of the theory. This information could be further tested in different situations, and the information assembled into an educational material that could be used in making management decisions.



**Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks**

Mina, MEELIS SÄINAS  
(*autori nimi*)

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose  
TIMMITUD TOOTMISE JA PIIRANGUTE TEOORIA KOOSRAKENDAMINE  
TOOTMISPROTSESSIDE JUHTIMISES AS SAKU METALL ALLHANKE TEHAS  
NÄITEL

(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja on KALEV KAARNA  
(*juhendaja nimi*)

- 1.1.reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
- 1.2.üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, **03.06.2014**